

# FARKLI İKLİM BÖLGELERİNE AİT ISITMA-SOĞUTMA TASARIM SICAKLIKLARININ DİKKATE ALINARAK BİR ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİNİN TASARIMI

Meltem ALTIN  
Sinan AKTAKKA  
Hüseyin GÜNERHAN  
T. Hikmet KARAKOÇ

## ÖZET

Kapalı ortamlarda dışarıdan alınan taze havanın neden olduğu dış hava yükü, ısı geri kazanım uygulaması ile %40-90 oranında azaltılarak enerji tasarrufu sağlanabilir. Isı geri kazanım cihazlarında, ısı transferinde önemli rol oynayan sıcak ve soğuk akışkan arasındaki sıcaklık farkı (iç ve dış ortam hava sıcaklıklarındaki değişim) geri kazanılan ısı miktarını büyük ölçüde etkiler. İç ortam konfor koşulları belirli sınırlar içinde kalırken, dış hava sıcaklıkları cihazın bulunduğu bölgenin iklim koşullarına bağlı kalır. Bu çalışmada ısı geri kazanım cihazlarının ısı tasarım kriterleri ile farklı iklim bölgelerine göre verim hesaplamalarına yer verilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Isı geri kazanımı, Isı değiştirici, Havalandırma Karakteristiği

## ABSTRACT

With the application of heat recovery, the air conditioning load caused by the fresh air taken from outside ambient air, can be reduced by 40-90%. Thus, the energy savings can be achieved. Temperature difference between the hot and cold fluid (internal and external ambient air temperatures change) which plays an important role in heat transfer can significantly affect the amount of heat recovered. Indoor comfort conditions remain within certain limits while the outside air temperature depends on the climatic conditions of the region. In this article, the thermal design and performance of heat recovery equipment according to different climatic zones is studied.

**Key Words:** Heat Recovery, Heat exchanger, Ventilation Characteristics, Heat Recovery Performance

## 1. GİRİŞ

Hayatlarının büyük çoğunluğunu kapalı binalarda geçiren insanlar solunumları ile ortamda bulunan malzemeler ve ekipmanlar da istenilmeyen gaz emisyonları ile buldukları ortamdaki havayı kirletirler ve kalitesini bozarlar. Bu durum konforun azalmasına, çalışma performanslarının düşmesine ve oksijen miktarının çokça düştüğü durumlarda bazı sağlık problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu olumsuzlukların giderilmesinin en uygun yolu ortamdaki kirli havanın dışarıya atılması ve buna karşın dış havanın şartlandırılarak ortama geri verilmesidir. Atılan hava yerine alınan taze

havanın tekrar şartlandırılması ise dış hava yükünü ortaya çıkarır. Bu yük, iç ortam havasının şartlandırılması için gereken enerjiyi önemli miktarda artırır.

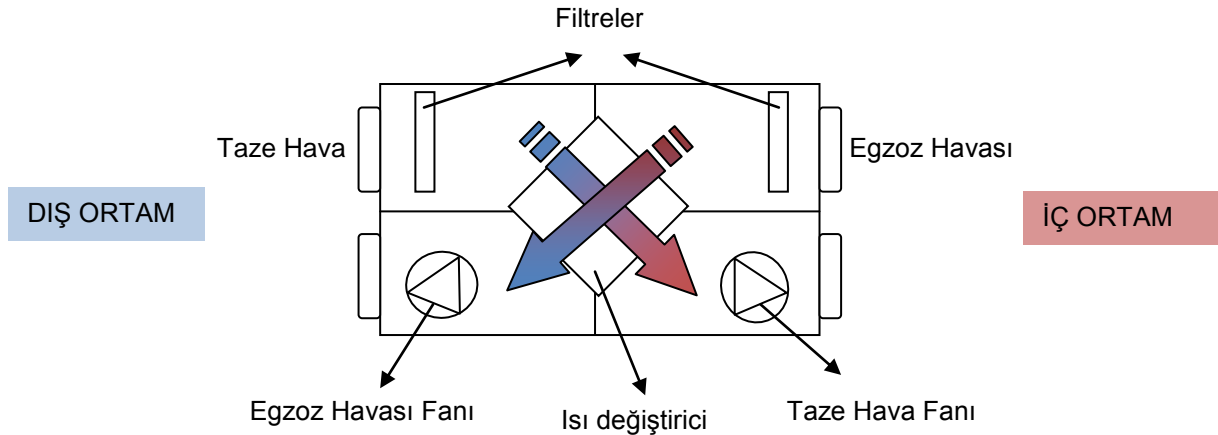
Egzoz edilen kullanılmış hava yerine alınan taze havanın neden olduğu dış hava yükünün kullanılacak ısı geri kazanımlı havalandırma cihazları ile azaltılması mümkündür. Isı geri kazanım cihazları, dış şartlarda alınan taze havanın egzoz havası yardımı ile ön ısıtılmasını (veya soğutulmasını) sağlayarak, taze havanın sıcaklığını, iç ortam şartlarına yaklaştırmaktadır. Kullanılan ısı değiştiricinin özelliğine göre taze hava ve egzoz havası arasında nem transferi de gerçekleştirilmesi mümkündür. Nem transferi özelliği, iklimlendirme sistemlerinde büyük enerji sarfiyatına neden olan nem alma ve nemlendirme bileşenlerinin kapasitelerinin azalmasını veya sistemden kaldırılmalarını sağlar.

Tüm bu özellikler göz önüne alındığında ısı geri kazanımının üç önemli avantajı ön plana çıkmaktadır:

1. Geri kazanılan ısı sayesinde iç ortamı konfor koşullarına getirmek için gereken dış hava yükü önemli miktarda azaltılmış olur. Böylece iklimlendirme için harcanan enerji miktarı düşer, tasarruf sağlanır.
2. Gerek iklimlendirme sisteminde kullanılan bileşenlerin kapasitelerinin azaltılması gerekse nemlendirme ve nem alma bileşenlerine ihtiyacın kalmaması durumunda ilk yatırım maliyeti azaltılabilir.
3. Azalan dış hava yükü, taze havalı cihaz kullanımını daha makul hale getirir. Böylece iç hava kalitesinin sağlanmasında bir üstünlük sağlanır.

## 2. ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİNİN PERFORMANS GÖSTERGELERİ

Bir ısı geri kazanım cihazını oluşturan temel bileşenler; cihaz gövdesi, ısı değiştirici, egzoz ve taze hava fanları ve filtrelerdir. Isı değiştiricinin görevi taze hava ve egzoz havası arasında ısı alışverişini gerçekleştirerek taze havanın kışın ön ısıtılmasını yazın ise ön soğutulmasını sağlamaktır. Filtreler havada bulunan toz ve parçacıkları tutarak hem iç ortama üflenen havayı temizler hem de cihaz içi bileşenleri korur, kullanım ömürlerini uzatır. Fanlar hava kanallarında, eşanjörde, filtrede ve cihaz içi akış alanlarında meydana gelen basınç kayıplarını yenerek taze hava ve egzoz havasının istenilen debide üflenmesini sağlarlar.



Şekil 1 Isı Geri Kazanım Cihazının Çalışma Prensipleri

Isı geri kazanım cihazının performansı etkileyen etmenler; ısı değiştiricinin verimi, fanın verimi, hava akış şekilleri (geometrik yapılandırma), iç-dış ortam havasının sıcaklık farkı, üfleme ve egzoz havası debileri ve donmadan korunmak için uygulanan metotlardır. Performansı belirtmek için çeşitli göstergeler bulunmaktadır. Bu göstergeler performans katsayısı (COP), özgül fan gücü (SFP) ve ısı değiştirici verimliliğidir.

Isı pompası teorisi içinde iyi bilinen COP tanımı, bu çalışmada farklı özelliklere sahip ısı geri kazanım cihazlarının karşılaştırılması için kullanılmıştır: Performans katsayısı (COP), bir ünitenin çalışması için gereken güç girişi (kW) ile taze havaya aktarılan ısının (kW) oranını gösterir. Böylece eğer bir ünite 1 kW 'lık bir elektrik girişinden 5kW'lık ısı elde ederse COP değeri 5,0'dır. COP ne kadar yüksek olursa cihaz o kadar çok enerji tasarrufu sağlar. Basit bir ısı geri kazanım sisteminde cihaza verilen elektrik gücü fanların çektiği elektrik gücüne eşittir. Fana verilecek elektrik enerjisi toplam basınç düşümüne ve fanın sağlayacağı hava debisine bağlıdır. Fakat ısı tekerli sistemlerde tamburu döndürmek için kullanılan motorun gücü de fanların gücüne eklenir. Ayrıca kışın ısı değiştiricide yoğuşan suyun donmasına karşı kullanılan elektrikli ısıtıcıların taze havaya aktardığı ısı ve çektiği güç de hesaba katılmalıdır. Bu durumda COP aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$COP = Q_{tr} / W_{sis}$$

$Q_{tr}$  = Taze hava ile gerçekleşen ısı transferi [kW]

$W_{sis}$  = Sistemin giriş gücü [kW]

Isı değiştirici kanatları arasındaki mesafenin değişimi COP' yi büyük ölçüde etkiler. Aynı ısı değiştirici boyutlarında kanat aralığının azalması kanal sayısını ve dolayısıyla ısı transfer yüzey alanını artırır. Böylece transfer edilen ısı artmış olur. Diğer yandan içinden geçtiği kanal daraldıkça havanın hızı yükselir, basınç düşümleri artar. Bu durum fanların daha yüksek güç çekmesine neden olarak COP' yi negatif yönde etkiler. En yüksek COP değerinin elde edilebilmesi için, kanat aralık mesafesi değiştirilerek, bulunan COP değerleri karşılaştırılmalıdır.

Özgül fan gücü (SFP [ $W/m^3/s$ ]), belirli bir çalışma noktasında üniteye kullanılan fanların toplam gücünün [W] taze hava ve egzoz havası debilerinin en büyük olanına [ $m^3/s$ ] oranı şeklinde ifade edilir. Bu oran, hava debisine, fanın yapısına ve sistemdeki toplam basınç düşümüne bağlıdır.

$$SFP = W_{Fan} / V_{maks.}$$

$W_{Fan}$  = Üniteye fanların toplam gücü[W]

$V_{maks.}$  = Taze hava ve egzoz hattındaki en yüksek debi [ $m^3/s$ ]

Isı değiştirici verimi ( $\eta$ ), ısı değiştiricinin taze hava ve egzoz havası arasında transfer ettiği ısının, transfer edilebilecek en yüksek ısı akısına oranıdır.

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_{12} - T_{11})$$

$$Q_{maks.} = m \cdot C_p \cdot (T_{e1} - T_{t1})$$

$$\eta = Q / Q_{maks.}$$

$T_{11}$  = Taze hava giriş sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]

$T_{12}$  = Taze hava çıkış sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]

$T_{e1}$  = Egzoz havası giriş sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]

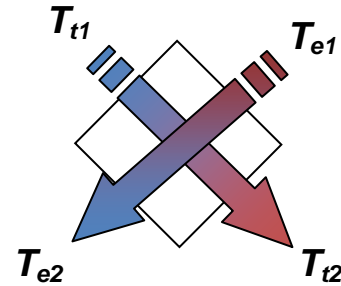
$T_{12}$  = Egzoz havası çıkış sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]

$m$  = Hava debisi [kg/s]

$C_p$  = Havanın özgül ısı [kJ/kg.K]

$Q$  = Egzoz havası ve taze hava arasında transfer edilen ısı [W]

$Q_{maks.}$  = Egzoz havası ve taze hava arasında transfer edilebilecek maksimum ısı [W]

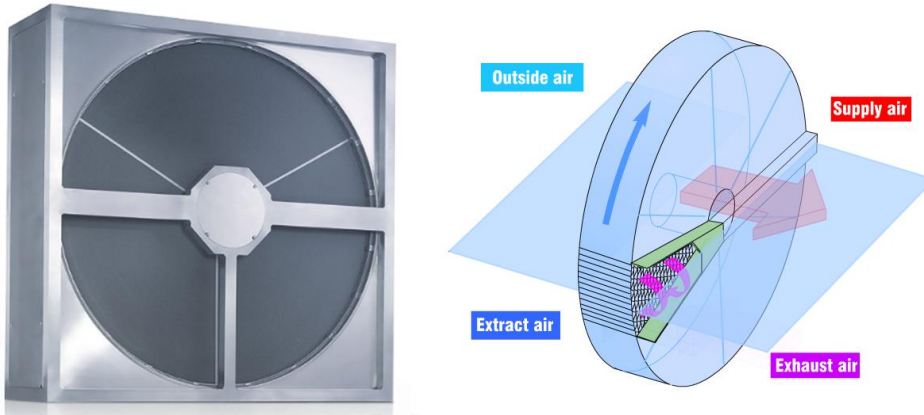


### 3. ISI GERİ KAZANIM CİHAZLARINDA KULLANILAN ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ

Havadan havaya ısı geri kazanım cihazlarında, ısı iletim şekline göre iki çeşit ısı değıştirici kullanılır. Isı tekerlerinde tekerleğin içinden geçtiğı birinci bölümde havadan alınan ısı önce dolgu üzerinde depolanır, daha sonra ikinci bölümde havaya aktarılır. Dolgu, hava akımlarının üzerinden geçeceği ince cidarlı ve delikli yapıdaki hava kanallarından oluşur.

Özellikle yüksek hava debili sistemlerde ısı tekerleri uzun zamandır önemli bir yere sahiptir. Bu tip ısı geri kazanım sistemleri ev, ofis, fabrika gibi çeşitli alanlarda kurulan havalandırma ve iklimlendirme cihazlarında kullanılabilir. [1]

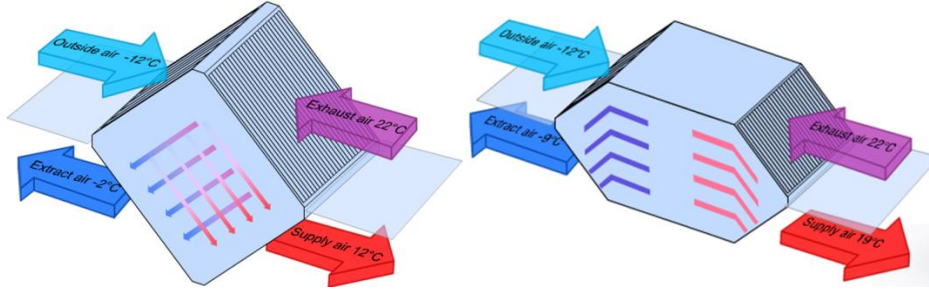
Havalandırma ve iklimlendirme uygulamalarında nem transferi yapılabilen ve yapılamayan olmak üzere iki farklı tasarım kullanılmaktadır. Nem transferi yapılamayan sistemlerde ısı, ısı depolama bölgesi tarafından transfer edilir. Yazın, taze hava egzoz havasından daha sıcak ve nemlidir. Bu durumda kaplamasız bir ısı tekeri taze havanın sıcaklığını düşürürken hava içindeki nem miktarı değışmez. Bu durum ortama verilen havanın bağıl neminin daha da artmasına neden olur. [1]



Şekil 2 Isı Tekerini [2]

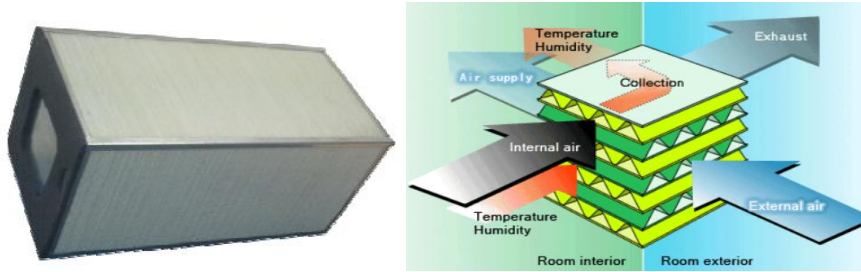
Havalandırma ve iklimlendirme teknolojisinde nem transferi sağlamak için ısı tekerlerinin plakaları nem tutucu bir malzemeyle kaplanır. Bu malzeme, sıcak havaya maruz kaldığında hava içerisindeki nemi kendi bünyesinde hapseder ve soğuk akışkan tarafına geldiğinde bu nemi havaya transfer eder. Bu sayede, yazın taze havada bulunan nem önce ısı tekerine oradan da egzoz havasına transfer edilerek nem miktarı azaltılır; kışın egzoz havasındaki nem ısı tekeri aracılığıyla dışarıdan alınana havaya aktarılarak iç ortama gönderilmeden önce nemlendirilmesini sağlar. Bu yapılandırma hem duyulur hem de gizli ısıyı yıl boyunca transfer eder. Kışın ısı geri kazanımı ve nemlendirme; yazın ön soğutma ve nem alma işlemleri bir arada gerçekleştirilmiş olur. Bu mekanizma soğurmalı ısı tekeri (Sorption) olarak adlandırılmaktadır. Havadaki nemin anında transferi sayesinde sıcaklığının çığlenme noktası altına düşerek plakalar üzerinde yoğunlaşmasından kaçınılmış olur.

Plakalı ısı değıştiricilerde ise iki hava akımı bir yüzey ile birbirinden ayrılır ve ısı transferi bu yüzeyi oluşturan plakanın kalınlığı boyunca doğrudan gerçekleşir. Bu süreçte İki akışkan birbirine karışmaz. Akış yönlerine göre ters veya çapraz akışlı olarak üretilirler. Plakalı ısı değıştiricileri alüminyum, plastik ve işlenmiş kâğıttan üretilebilmektedir. Malzeme olarak genellikle dayanıklılık, düşük maliyet ve yüksek ısı transferi sağlayan alüminyum kullanılır.



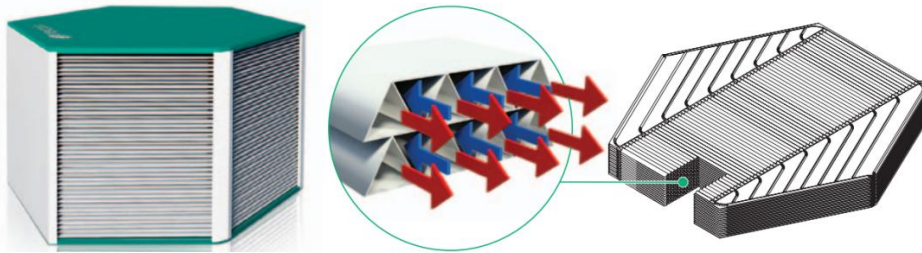
Şekil 3 Alüminyum Plakalı Isı Değiştirici [2]

Isı iletim malzemesi olarak işlenmiş kâğıt kullanımının en büyük avantajı ısının yanında nem transferi de yapabilmesidir. Kâğıt belirli işlemlerden geçirilerek dış etkenlere karşı dayanıklılık kazanır. Böylece iyi filtrelenmiş bir sistemde uzun süre kullanılabilir. Yalnızca kaba filtrelemenin yapıldığı durumlarda kâğıda yapışan tortu birikerek ısı transferini azaltır ve ısı değiştiricinin ömrünü azaltır. Selülozik ısı değiştiricinin basınç kayıpları ve verim değerleri konusunda yeterli veri bulunmadığı için bu çalışmaya dâhil edilmemiştir.



Şekil 4 Selülozik Isı Değiştirici [3]

Plastik ısı değiştiriciler gelişen teknolojiyle birlikte ısı geri kazanımda önemli bir yer edinmişlerdir. Çok ince plakalara, ısı transferini artırıcı profiller işlenerek oluşturulan tiplerinde %85-90 verimlere ulaşmak mümkündür. Düşük debili sistemlerde yüksek verim sağlaması ve hafif olmaları sayesinde ev tipi ısı geri kazanım cihazları için uygun hale gelirler.



Şekil 5 Plastik Isı Değiştirici [4]

### 3.1. Isı Değiştirici Seçim Kriterleri

Bir ısı geri kazanım cihazında kullanılacak ısı değiştiricinin seçimi yapılırken aşağıdaki özelliklere dikkat edilmelidir:

**Isı geri kazanım cihazının yerleştirileceği alan (boyutlar):** Asma tavan içerisine yerleştirilecek cihazlarda asma tavan yüksekliğinden dolayı boyut kısıtlaması bulunmaktadır. Bu nedenle tavan tipi cihazlarda plakalı ısı değiştiriciler kullanılırken, boyutları nedeniyle ısı tekerlekleri kullanılamamaktadır.



**Isı değiştiricinin verimi:** apraz akışlı plakalı ısı değiştiricilerin verimi %50, ters akışlı plakalı ısı değiştiricilerin verimi %70-80, ısı tekerleklerinin verimi %80 civarındadır. Yüksek verimin istenildiği durumlarda ısı tekerleklerinin veya ters akışlı plakalı ısı değiştiricilerin kullanılması uygundur. Bu durumda ısı geri kazanım cihazının maliyetinin ve basınç kayıplarının artacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

**Isı değiştiricinin maliyeti:** Maliyet açısından bakıldığında en ucuz ısı değiştirici çapraz akışlı plakalı ısı değiştiricilerdir. Ters akışlı ısı değiştiricilerin üretimi çapraz akışlılara kıyasla maliyeti daha yüksektir. ısı tekerleri ise bu grup içerisinde en pahalı ısı değiştiricilerdir.

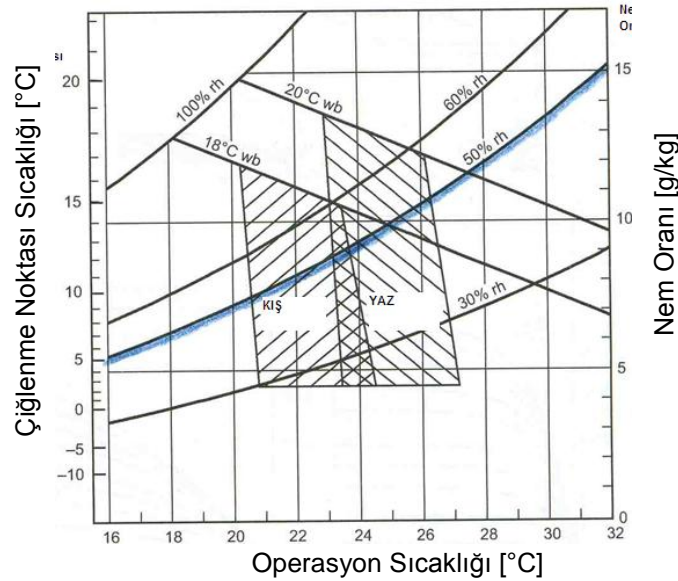
**Isı değiştiricinin girişindeki hava hızı:** ısı değiştiricilerin girişlerinde önerilen hava hızları en az 0.5 m/s, en fazla çapraz akışlılarda 3.5 m/s, ters akışlılarda 2 m/s, ısı tekerlerinde 5 m/s' dir. Bu değerlerden daha yüksek hava hızlarına ulaşıldığında basınç kayıpları ve gürültü seviyesi istenmeyen seviyelere ulaşır. Bu nedenle belirlenen debi için uygun boyutlarda bir ısı değiştirici seçilmelidir.

**Cihazın kullanılacağı bölgenin dış hava şartları:** ısı geri kazanım cihazının kullanılacağı yerin iklim koşulları ısı değiştirici seçimini etkiler. Kışın ısı değiştiricilerde yoğuşan suyun donma probleminden korunmak için alınan önlemler (taze hava giriş kanalına elektrikli ısıtıcı yerleştirilmesi vb.) cihaz performansına etki eder. Dış ortam hava şartlarının aşırı nemli/kuru olduğu bölgelerde nem transferi gerçekleştiren ısı değiştiricilerin seçilmesi, iklimlendirme cihazlarındaki nemlendirme/nem alma elemanlarının boyutlarının küçülmesini hatta kullanımına gerek kalmamasını sağlar. İlk yatırım ve işletme maliyetleri azalır.

ısı değiştiriciler tamamen aynı şartlarda (boyut, kanat aralığı vb.) seçilemeyeceği için ısı değiştirici verimleri veya basınç düşümleri birbiriyle karşılaştırılmaz. Bu çalışmada karşılaştırma için hem ısı transfer miktarı hem de basınç düşümlerini göz önüne alan COP değerleri kullanılmıştır.

#### 4. FARKLI İKLİM BÖLGELERİNE GÖRE CİHAZ TASARIMI

Isıl konfor açısından iç ortam şartları yaz veya kış mevsimleri için çok büyük farklılıklar göstermez. Bu şartlar Şekil 6' da ASHRAE standart 55' de tanımlanan ısı konfor diyagramında belirtildiği üzere 20 ile 26°C sıcaklık ve %40 ile %70 RH civarındadır.



Şekil 6 ASHRAE Konfor Diyagramı [5]

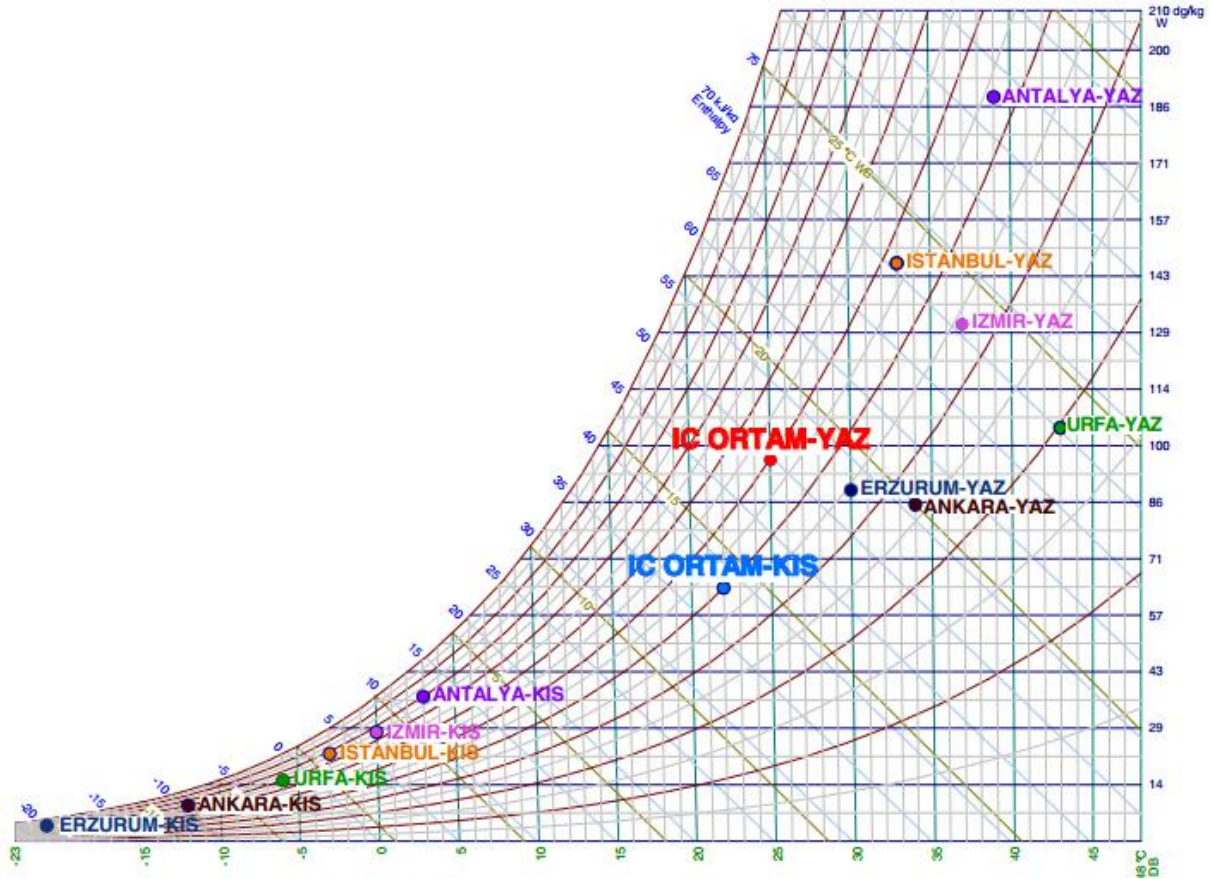
Şekilde belirtilen operasyon sıcaklığı ortalama radyan sıcaklığı ile kuru termometre sıcaklığının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanır. Bu değer, yaklaşık olarak kuru termometre sıcaklığına eşit olarak değerlendirilebilir [6].

Yaz ve kış ayları karşılaştırıldığında dış hava şartları için aynı benzerlikten bahsetmek mümkün değildir. Ülkemiz nüfus yoğunluğunun bulunduğu bölgelerin iklim koşulları dikkate alındığında, dış hava sıcaklıkları -15 ile +40 °C arasında değişmektedir. Isı geri kazanım cihazının tasarımında, cihazın kullanılacağı bölgenin dış hava şartlarına uygun bir ısı değiştirici seçilmelidir. Bu seçimde bölgenin yaz ve kış koşullarındaki kuru termometre sıcaklığı ile bağıl neminin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ele alınan farklı iklim tiplerinde 6 ilin yaz ve kış tasarım şartları Şekil 7'de gösterilen psikrometrik diyagram üzerinde işaretlenmiştir.

İç ortam koşulları yaz için 25°C KT %50 RH, kış için 22 °C KT %40 RH olarak alınmıştır. İklim bölgelerinin yaz ve kış tasarım sıcaklıkları Tablo1' de belirtilmiştir.

**Tablo 1.** 6 İl için Yaz ve Kış Tasarım Şartları [7]

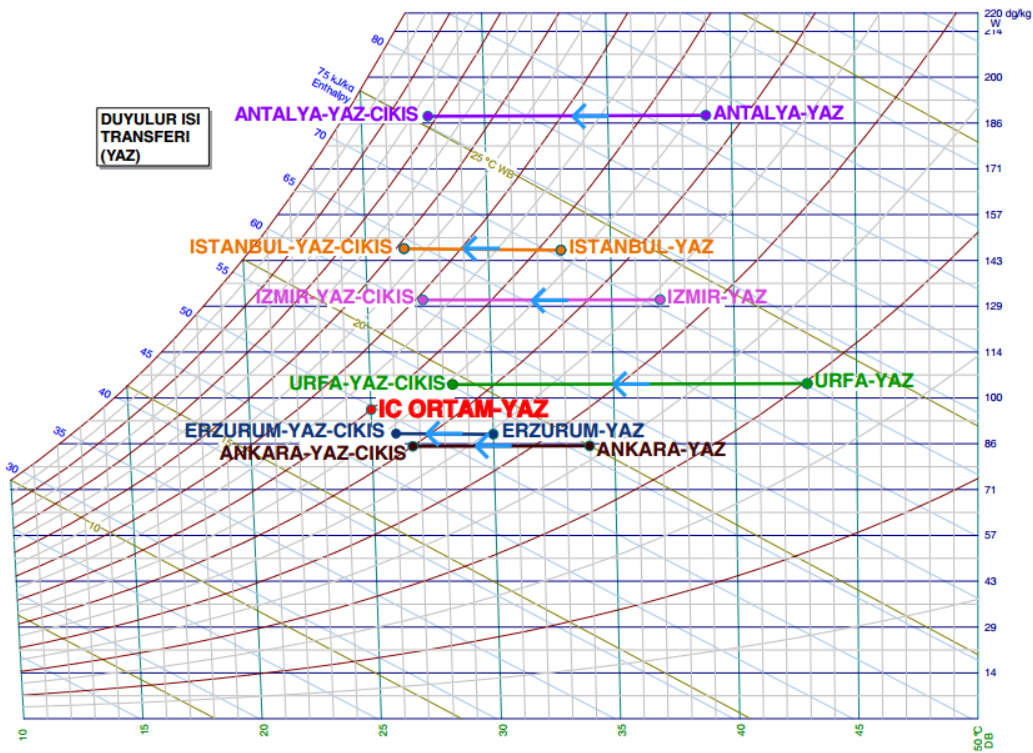
		YAZ						KIŞ					
		İSTANBUL	ANKARA	İZMİR	ANTALYA	ERZURUM	URFA	İSTANBUL	ANKARA	İZMİR	ANTALYA	ERZURUM	URFA
ODA KOŞULLARI	SICAKLIK	25						22					
	BAĞIL NEM	50						40					
GİRİŞ KOŞULLARI	SICAKLIK	33	34	37	39	30	43	-3	-12	0	3	-21	-6
	BAĞIL NEM	47.32	26.31	34	43.55	34.39	19.82	78	70	75	80	70	70



**Şekil 7.** Farklı İklim Bölgelerinin Yaz ve Kış Tasarım Şartları

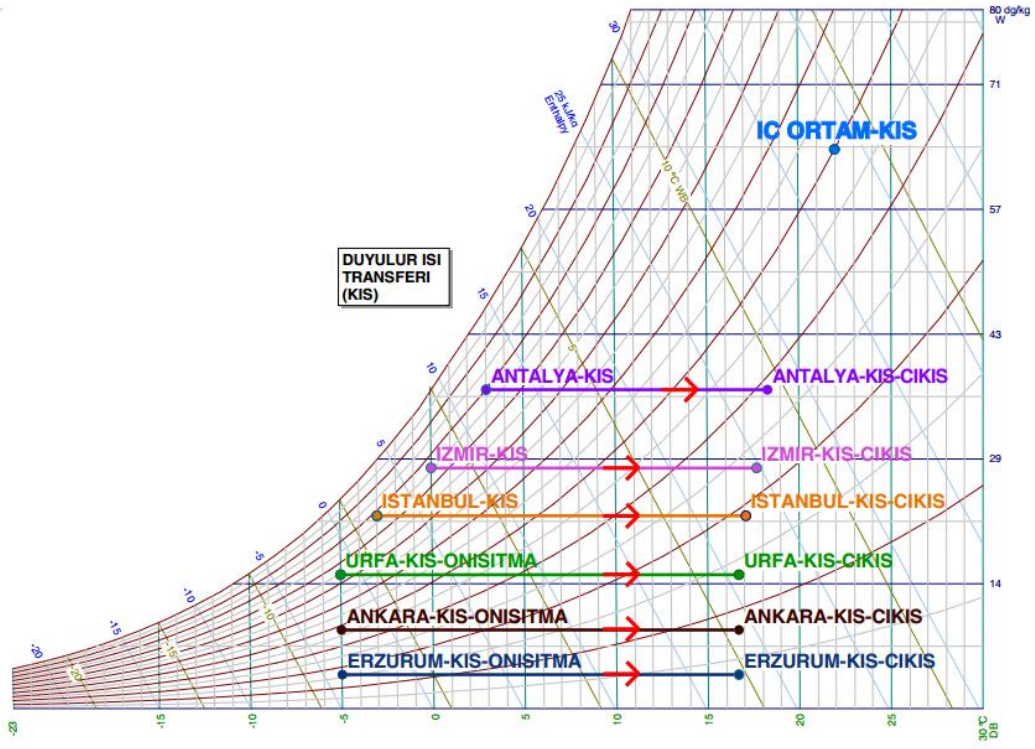
Şekil 7'deki diyagrama göre yazın iç ortam yaz şartlarına ulaşabilmek için Erzurum, Ankara, Urfa illerinde soğutma; Antalya, İstanbul ve İzmir illerinde soğutma ve nem alma işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Kışın ise tüm illerde ısıtma ve nemlendirme işlemleri yapılmalıdır.

Şekil 8 ve 9'da yalnızca duyulur ısı transferi yapan ters akışlı alüminyum ısı değiştirici için ısı geri kazanım süreçleri gösterilmiştir. Isı değiştiriciye giren dış havaya yalnızca duyulur ısı transfer edilir ve süreç sabit özgül nem doğrusu boyunca ısı değiştiricinin verimine bağlı olarak gerçekleşir. Bu durumda yazın Antalya, İstanbul ve İzmir gibi nemli bölgelerin sıcaklığı bir miktar düşse de bağıl nemleri yüksek değerlere ulaşacaktır. Bunun sonucunda dış havanın konfor şartlarına getirilmesi için soğutulması ve neminin sıkılması gerekir. Fakat nem alma işlemi fazlaca maliyetli bir işlemdir. Kışın aynı işlem tekrarlandığında, kuru termometre sıcaklığı artan dış havanın bağıl nemi konfor koşullarının çok altındadır. Bu nedenle havanın, mahale verilmeden önce nemlendirilmesi ve nemlendirme sırasında tekrar düşen sıcaklık da göz önüne alınarak tekrar ısıtılması gerekmektedir. Ankara ve Erzurum gibi düşük nemli bölgeler için bu sürecin yazın avantajlı olduğu görülse de kışın nemlendirme işlemi gerekmektedir.

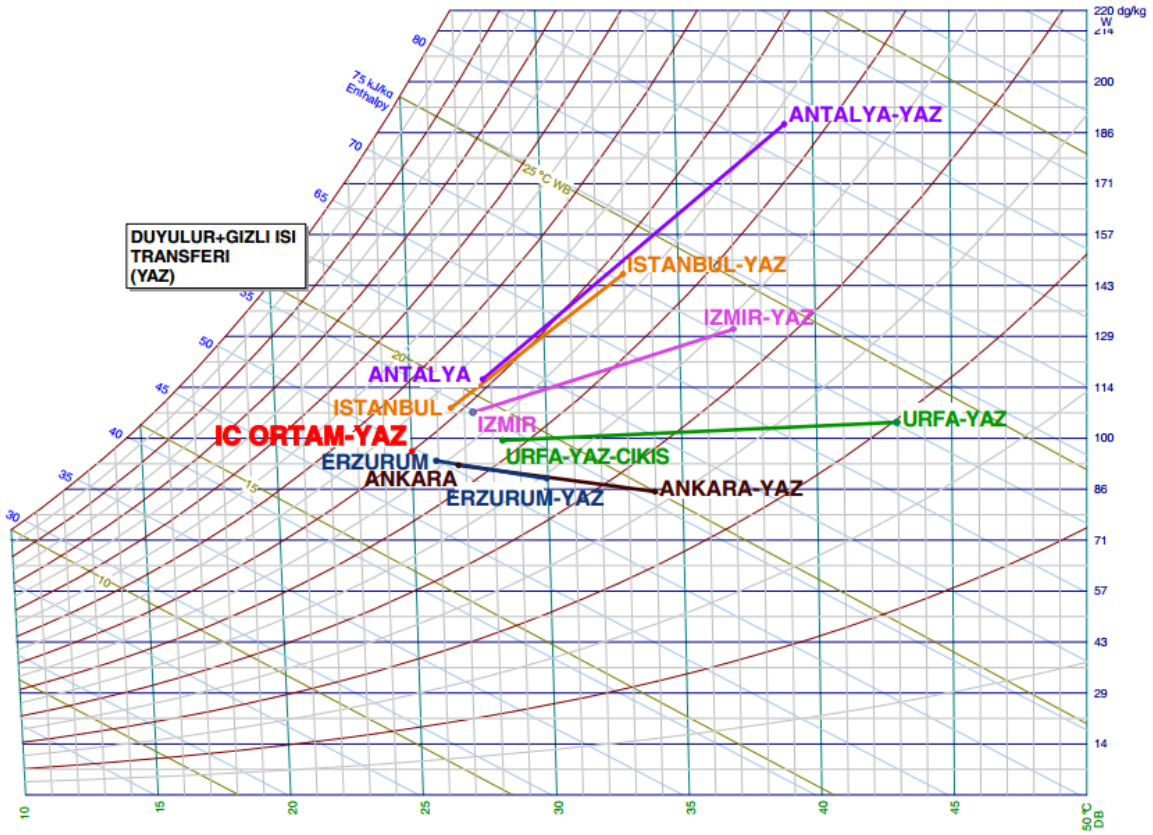


Şekil 8. Yalnızca Duyulur Isı Transferi (YAZ)

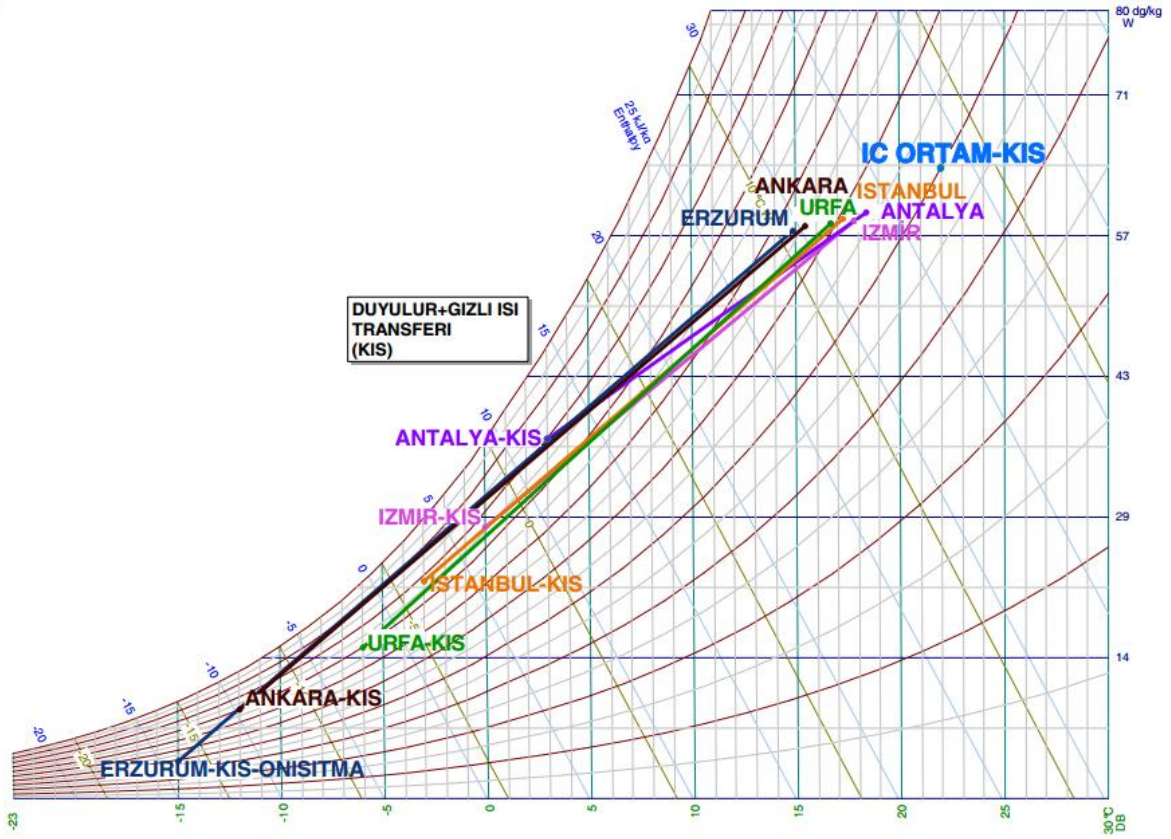




Şekil 9. Yalnızca Duyulur Isı Transferi (KİŞ)



Şekil 10. Duyulur ve Gizli Isı Transferi (YAZ)



Şekil 11. Duyulur ve gizli ısı transferi (KİŞ)

Hem duyulur hem de gizli ısı transferi gerçekleştirebilen ısı geri kazanım uygulamalarında ise Şekil 10 ve 11'de görüldüğü gibi yazın nem alma ve soğutma, kışın da nemlendirme ve ısıtma işlemleri aynı anda gerçekleştirilebilmektedir. Bu durum iklimlendirme cihazlarının karşılaması gereken dış hava yükünü önemli miktarda azaltmaktadır.

Çalışmada farklı iklim bölgelerinde çeşitli ısı değiştiriciler kullanılarak ısı değiştirici seçiminin ve dış hava şartlarının iklimlendirme sistemine etkisi incelenmiş, verim ve COP değerleri hesaplanmıştır. İklim bölgelerinin tasarım şartlarına göre ısı transfer miktarları ve basınç düşümleri bulunarak COP değerleri elde edilmiştir. Fan seçim programından debi ve toplam basınç düşümü değerleri girilerek fan için gereken güç bulunmuştur. Sisteme giren güç toplam ısı transferi miktarına bölünerek COP değeri elde edilmiştir. Debi 1000 m<sup>3</sup>/h, ısı değiştirici harici basınç düşümleri de yaklaşık 270 Pa (cihaz içi 70 Pa, cihaz dışı 200 Pa) olarak alınmıştır.

**Tablo 2** Yaz Koşulları İçin COP Hesaplamaları

		YAZ						
		İSTANBUL	ANKARA	İZMİR	ANTALYA	ERZURUM	URFA	
ODA KOŞULLARI	SICAKLIK [°C]	25						
	BAĞIL NEM [%]	50						
	ENTALPİ [kJ/kg]	50.3						
GİRİŞ KOŞULLARI	SICAKLIK [°C]	33	34	37	39	30	43	
	BAĞIL NEM [%]	47.32	26.31	34	43.55	34.39	19.82	
	ENTALPİ [kJ/kg]	71.6	56.6	71.7	88.9	53.4	70.9	
ÇIKIŞ KOŞULLARI	SOĞURMALI ISI TEKERLEĞİ	SICAKLIK [°C]	26.5	26.7	27.3	27.7	25.9	28.4
		BAĞIL NEM [%]	51.4	43.4	48.5	51.4	46.1	42.2
		ENTALPİ [kJ/kg]	55.1	51	55.5	58.3	50.6	54.5
		VERİM [%]	81	81.2	81.1	80.9	81.1	81.3
		BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]	98	99	101	102	97	104
		ISI TRANSFERİ [kW]	5.41	1.83	5.31	9.98	0.93	5.39
		FAN GÜCÜ + MOTOR [W]	282	282	282	282	282	282
		COP	19.2	6.5	18.8	35.4	3.3	19.1
	YOĞUŞMALI ISI TEKERLEĞİ	SICAKLIK [°C]	26.6	26.7	27.3	27.7	26	28.4
		BAĞIL NEM [%]	68.6	39.9	58.8	81.9	43.5	44.2
		ENTALPİ [kJ/kg]	64.9	49.1	61.7	77.1	49.3	55.9
		VERİM [%]	80.6	80.9	80.7	80.5	80.8	80.9
		BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]	87	88	89	90	86	92
		ISI TRANSFERİ [kW]	2.19	2.46	3.28	3.84	1.36	4.93
		FAN GÜCÜ + MOTOR [W]	277	277	277	277	277	277
		COP	7.9	8.9	11.8	13.9	4.9	17.8
	ALUMİNYUM ÇAPRAZ AKIŞLI ISI DEĞİŞTİRİCİ	SICAKLIK [°C]	28.8	29.3	30.8	31.7	27.4	33.6
		BAĞIL NEM [%]	60	34.3	48.2	65	40	32.9
		ENTALPİ [kJ/kg]	67.3	51.8	65.2	81.3	50.8	61.2
		VERİM [%]	51.9	52.1	52	51.9	52	52.2
		BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]	41	41	41	42	40	42
		ISI TRANSFERİ [kW]	1.41	1.58	2.12	2.48	0.88	3.18
		FAN GÜCÜ [W]	162	162	162	162	162	162
		COP	8.7	9.8	13.1	15.3	5.4	19.6
ALUMİNYUM TERS AKIŞLI ISI DEĞİŞTİRİCİ	SICAKLIK [°C]	26.6	26.8	27.4	27.8	26	28.6	
	BAĞIL NEM [%]	68.3	39.8	58.4	81.3	43.4	43.8	
	ENTALPİ [kJ/kg]	65.4	49.5	62.2	77.8	49.6	56.4	
	VERİM [%]	79.9	80.1	79.9	79.7	80.1	80	
	BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]	114	114	116	118	112	119	
	ISI TRANSFERİ [kW]	2.17	2.44	3.25	3.8	1.35	4.88	
	FAN GÜCÜ [W]	201	201	201	201	201	201	
	COP	10.8	12.1	16.2	18.9	6.7	24.3	
PLASTİK TERS AKIŞLI ISI DEĞİŞTİRİCİ	SICAKLIK [°C]	26.53	26.7	27.3	27.67	25.95	28.44	
	BAĞIL NEM [%]	69	40	59	82	44	44	
	ENTALPİ [kJ/kg]	63.67	48.19	60.33	75.31	48.36	54.82	
	VERİM [%]	80.9	80.9	80.9	80.9	80.9	80.9	
	BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]	153	152	154	156	150	157	
	ISI TRANSFERİ [kW]	2.15	2.42	3.23	3.77	1.35	4.85	
	FAN GÜCÜ [W]	221	221	221	221	221	221	
	COP	9.7	11.0	14.6	17.1	6.1	21.9	

**Tablo 3** Kış Koşulları İçin COP Hesaplamaları (Isı Tekerleri)

		KIŞ ÖN ISITMALI - Rotorlu Isı Değiştiriciler (-15 C Donma sınırı)						
		İSTANBUL	ANKARA	İZMİR	ANTALYA	ERZURUM	URFA	
ODA KOŞULLARI	SICAKLIK [°C]	22						
	BAĞIL NEM [%]	40						
	ENTALPİ [kJ/kg]	38.76						
GİRİŞ KOŞULLARI	SICAKLIK [°C]	-3	-12	0	3	-15	-6	
	BAĞIL NEM [%]	78	70	75	80	40	70	
	ENTALPİ [kJ/kg]	2.7	-9.8	7.1	12.4	-14.1	-2.1	
ÇIKIŞ KOŞULLARI	SOĞURMALI ISI TEKERLEĞİ	SICAKLIK [°C]	17.3	15.5	17.8	18.4	14.9	16.7
		BAĞIL NEM [%]	49.3	54.6	47.6	46.5	56.3	50.8
		ENTALPİ [kJ/kg]	32.6	30.7	33.2	34	30	31.9
		VERİM [%]	81.1	80.9	81.1	81.1	80.9	81
		BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]	77	72	78	80	70	75
		ISI TRANSFERİ [kW]	9.95	13.46	8.69	7.17	14.68	11.32
		FAN GÜCÜ + MOTOR [W]	269	269	269	269	269	269
	COP	37.0	50.0	32.3	26.7	54.6	42.1	
	YOĞUŞMALI ISI TEKERLEĞİ	SICAKLIK [°C]	17.1	15.2	17.7	18.3	14.6	16.5
		BAĞIL NEM [%]	33.8	39.6	28.9	30.1	40.3	35.4
		ENTALPİ [kJ/kg]	27.5	26	26.9	28.3	25.2	26.9
		VERİM [%]	80.2	80.1	80.3	80.3	80	80.2
		BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]	70	66	72	73	65	69
		ISI TRANSFERİ [kW]	8.23	11.91	6.59	5.26	13.08	9.64
FAN GÜCÜ + MOTOR [W]		266	266	266	266	266	226	
COP	30.9	44.8	24.8	19.8	49.2	36.2		

**Tablo 4** Kış Koşulları İçin COP Hesaplamaları (Plakalı Isı Değiştiriciler)

		KIŞ ÖN ISITMALI - Plakalı Isı Değiştiriciler (-5 C Donma sınırı)						
		İSTANBUL	ANKARA	İZMİR	ANTALYA	ERZURUM	URFA	
ODA KOŞULLARI	SICAKLIK [°C]	22						
	BAĞIL NEM [%]	40						
	ENTALPİ [kJ/kg]	38.76						
GİRİŞ KOŞULLARI	SICAKLIK [°C]	-3	-5	0	3	-5	-5	
	BAĞIL NEM [%]	78	38	75	80	16	64	
	ENTALPİ [kJ/kg]	2.7	-2.7	7.1	12.4	-4.1	-1.1	
ÇIKIŞ KOŞULLARI	ALUMİNYUM ÇAPRAZ AKIŞLI ISI DEĞİŞTİRİCİ	SICAKLIK [°C]	10	9.5	11.3	12.8	9.5	9.5
		BAĞIL NEM [%]	30.2	12.9	34.1	41	5.4	21.7
		ENTALPİ [kJ/kg]	15.9	11.9	18.6	22.3	10.6	13.5
		VERİM [%]	51.6	51.6	51.6	51.6	51.6	51.5
		BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]	36	36	36	37	36	36
		ISI TRANSFERİ [kW]	4.38	4.86	3.82	3.3	4.86	4.86
		FAN GÜCÜ [W]	160	160	160	160	160	160
	COP	27.4	30.4	23.9	20.6	30.4	30.4	
	ALUMİNYUM TERS AKIŞLI ISI DEĞİŞTİRİCİ	SICAKLIK [°C]	17.3	17.3	17.7	18.3	17.3	17.3
		BAĞIL NEM [%]	18.8	7.7	22.6	28.8	3.3	13
		ENTALPİ [kJ/kg]	23.3	19.8	25.1	28	18.4	21.5
		VERİM [%]	81.2	80.8	80.6	80.5	80.8	80.8
		BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]	95	94	96	98	94	94
		ISI TRANSFERİ [kW]	6.82	7.48	5.96	5.15	7.48	7.49
		FAN GÜCÜ [W]	189	189	189	189	189	189
	COP	36.1	39.6	31.5	27.2	39.6	39.6	
	PLASTİK TERS AKIŞLI ISI DEĞİŞTİRİCİ	SICAKLIK [°C]	18.4	18.26	18.5	18.6	18.26	18.26
		BAĞIL NEM [%]	18	7.6	21	28	32	13
		ENTALPİ [kJ/kg]	24.2	20.7	25.5	27.85	19.3	22.4
		VERİM [%]	85.5	86.1	84.2	82.2	86.1	86.1
		BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]	131	130	132	133	130	130
ISI TRANSFERİ [kW]		7.17	7.8	6.22	5.24	7.8	7.8	
FAN GÜCÜ [W]		208	208	208	208	208	208	
COP	34.5	37.5	29.9	25.2	37.5	37.5		

Donma durumu göz önüne alındığında -5 °C KT den daha düşük sıcaklıktaki Erzurum, Ankara ve Urfa illerinde plakalı ısı değiştiriciler için ön ısıtıcı kullanılması gerekir. Çalışmada bu illerin kış tasarım noktaları sabit özgül nem değerinde plakalılar için -5 °C KT ye, ısı tekerliler için -15 °C KT ye kadar ötelenerek, yeni şartlara göre COP hesaplamaları yapılmıştır. Isıtıcının COP' ye etkisi katılarak ve katılmayarak 2 ayrı hesaplama yapılmıştır. Isıtıcının hesaba katıldığı durumda ısıtıcının çektiği güç fan ve varsa tambur motoru gücüne; havaya verdiği ısı, ısı değiştiricide gerçekleşen ısı transferi miktarına

eklenmiştir. Her iki koşulda da ısı tekerli cihazlarda fan gücüne ek olarak tamburu döndürmek için kullanılan motorun gücü (yaklaşık 90 Watt) COP hesaplamalarına eklenmiştir.

**Tablo 5** Kış Koşulları İçin COP Hesaplamaları (Isı Tekerleri-Isıtıcı Hesaba Dahil)

		KIŞ ÖN ISITMALI - Rotorlu Isı Değiştiriciler (-15 C Donma sınırı) (Isıtıcı Hesaba Dahil)						
		İSTANBUL	ANKARA	İZMİR	ANTALYA	ERZURUM	URFA	
ODA KOŞULLARI		SICAKLIK [°C]	22					
		BAĞIL NEM [%]	40					
		ENTALPİ [kJ/kg]	38.76					
GİRİŞ KOŞULLARI		SICAKLIK [°C]	-3	-12	0	3	-15	-6
		BAĞIL NEM [%]	78	70	75	80	40	70
		ENTALPİ [kJ/kg]	2.7	-9.8	7.1	12.4	-14.1	-2.1
ÇIKIŞ KOŞULLARI	SOĞURMALI ISI TEKERLEĞİ	SICAKLIK [°C]	17.3	15.5	17.8	18.4	14.9	16.7
		BAĞIL NEM [%]	49.3	54.6	47.6	46.5	56.3	50.8
		ENTALPİ [kJ/kg]	32.6	30.7	33.2	34	30	31.9
		VERİM [%]	81.1	80.9	81.1	81.1	80.9	81
		BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]	77	72	78	80	70	75
		ISI TRANSFERİ [kW]	9.95	13.46	8.69	7.17	16.68	11.32
		FAN GÜCÜ+ISITICI+MOTOR[W]	269	269	269	269	2269	269
		COP	37.0	50.0	32.3	26.7	7.4	42.1
		YOĞUŞMALI ISI TEKERLEĞİ	SICAKLIK [°C]	17.1	15.2	17.7	18.3	14.6
	BAĞIL NEM [%]		33.8	39.6	28.9	30.1	40.3	35.4
	ENTALPİ [kJ/kg]		27.5	26	26.9	28.3	25.2	26.9
	VERİM [%]		80.2	80.1	80.3	80.3	80	80.2
	BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]		70	66	72	73	65	69
	ISI TRANSFERİ [kW]		8.23	11.91	6.59	5.26	13.08	9.64
	FAN GÜCÜ+ISITICI+MOTOR[W]		266	266	266	266	2269	266
	COP		30.9	44.8	24.8	19.8	5.8	36.2

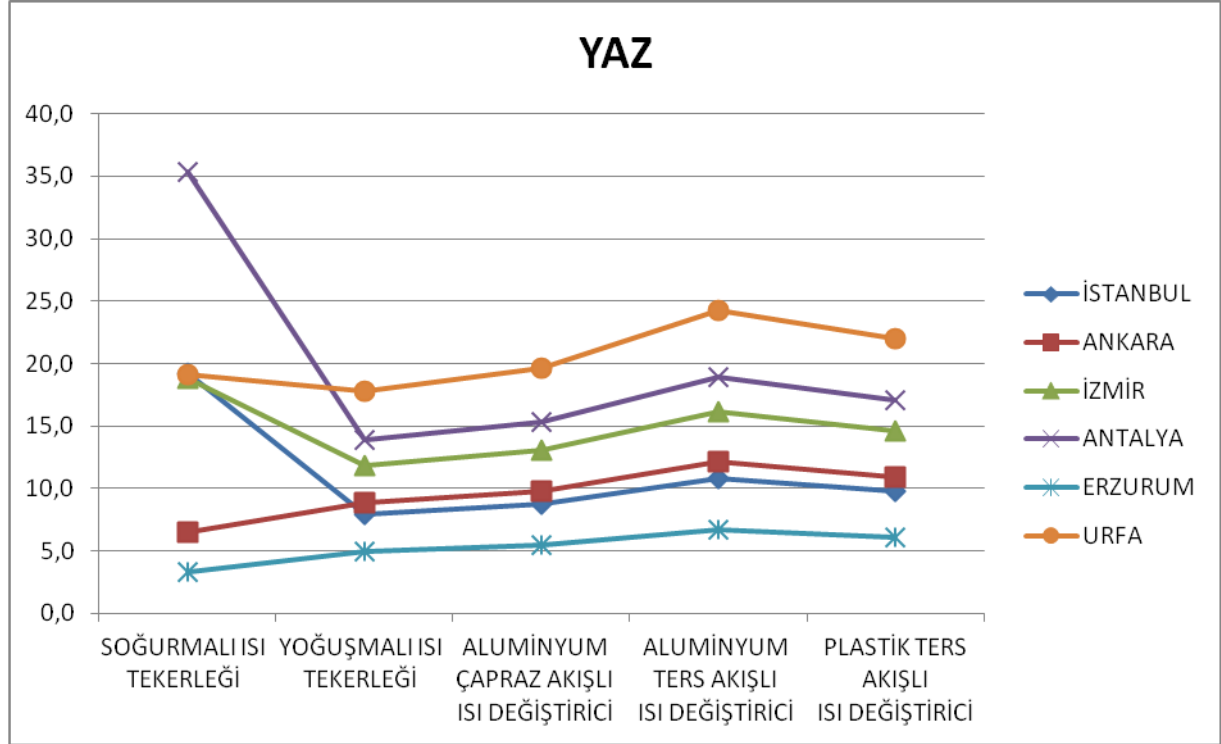
**Tablo 6** Kış Koşulları İçin COP Hesaplamaları (Plakalı Isı Değiştiriciler-Isıtıcı Hesaba Dahil)

		KIŞ ÖN ISITMALI - Plakalı Isı Değiştiriciler (-5 C Donma sınırı) (Isıtıcı Hesaba Dahil)						
		İSTANBUL	ANKARA	İZMİR	ANTALYA	ERZURUM	URFA	
ODA KOŞULLARI		SICAKLIK [°C]	22					
		BAĞIL NEM [%]	40					
		ENTALPİ [kJ/kg]	38.76					
GİRİŞ KOŞULLARI		SICAKLIK [°C]	-3	-5	0	3	-5	-5
		BAĞIL NEM [%]	78	38	75	80	16	64
		ENTALPİ [kJ/kg]	2.7	-2.7	7.1	12.4	-4.1	-1.1
ÇIKIŞ KOŞULLARI	ALUMİNYUM ÇAPRAZ AKIŞLI ISI DEĞİŞTİRİCİ	SICAKLIK [°C]	10	9.5	11.3	12.8	9.5	9.5
		BAĞIL NEM [%]	30.2	12.9	34.1	41	5.4	21.7
		ENTALPİ [kJ/kg]	15.9	11.9	18.6	22.3	10.6	13.5
		VERİM [%]	51.6	51.6	51.6	51.6	51.6	51.5
		BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]	36	36	36	37	36	36
		ISI TRANSFERİ [kW]	4.38	7.19	3.82	3.3	10.19	5.19
		FAN GÜCÜ + ISITICI [W]	160	2460	160	160	5460	490
		COP	27.4	2.9	23.9	20.6	1.9	10.6
		ALUMİNYUM TERS AKIŞLI ISI DEĞİŞTİRİCİ	SICAKLIK [°C]	17.3	17.3	17.7	18.3	17.3
	BAĞIL NEM [%]		18.8	7.7	22.6	28.8	3.3	13
	ENTALPİ [kJ/kg]		23.3	19.8	25.1	28	18.4	21.5
	VERİM [%]		81.2	80.8	80.6	80.5	80.8	80.8
	BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]		95	94	96	98	94	94
	ISI TRANSFERİ [kW]		6.82	10.78	5.96	5.15	12.81	7.82
	FAN GÜCÜ + ISITICI [W]		189	2490	189	189	5490	520
	COP		36.1	4.3	31.5	27.2	2.3	15.0
	PLASTİK TERS AKIŞLI ISI DEĞİŞTİRİCİ		SICAKLIK [°C]	18.4	18.26	18.5	18.6	18.26
		BAĞIL NEM [%]	18	7.6	21	28	32	13
ENTALPİ [kJ/kg]		24.2	20.7	25.5	27.85	19.3	22.4	
VERİM [%]		85.5	86.1	84.2	82.2	86.1	86.1	
BASINÇ DÜŞÜMÜ [Pa]		131	130	132	133	130	130	
ISI TRANSFERİ [kW]		7.17	10.8	6.22	5.24	13	7.8	
FAN GÜCÜ + ISITICI [W]		208	2510	208	208	5510	540	
COP		34.5	4.3	29.9	25.2	2.4	14.4	

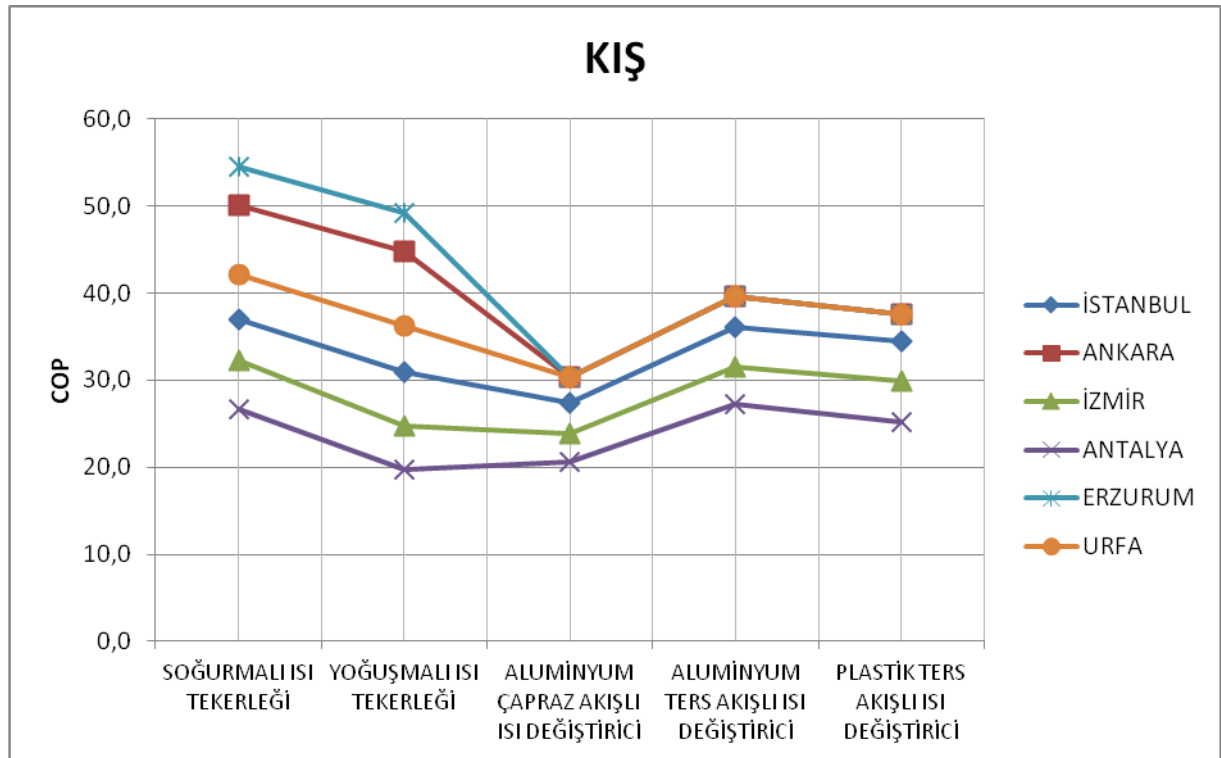
Şekil 12'de6 ilin yaz koşullarında, çeşitli ısı değiştiriciler kullanıldığında COP değerleri gösterilmiştir. Grafığe göre en yüksek COP değerleri soğurmalı ısı tekerinde ve ters akışlı ısı değiştiricide elde edilmiştir. Tablo2' ye bakıldığında yoğuşmalı ısı tekeri ile ters akışlı ısı değiştiricinin verimlerinin çok



yakın olduğu görülse de yoğuşmalı ısı tekerli cihazda bulunan motorun harcadığı güç COP değerinin ters akışlıdan daha düşük çıkmasına neden olmuştur.



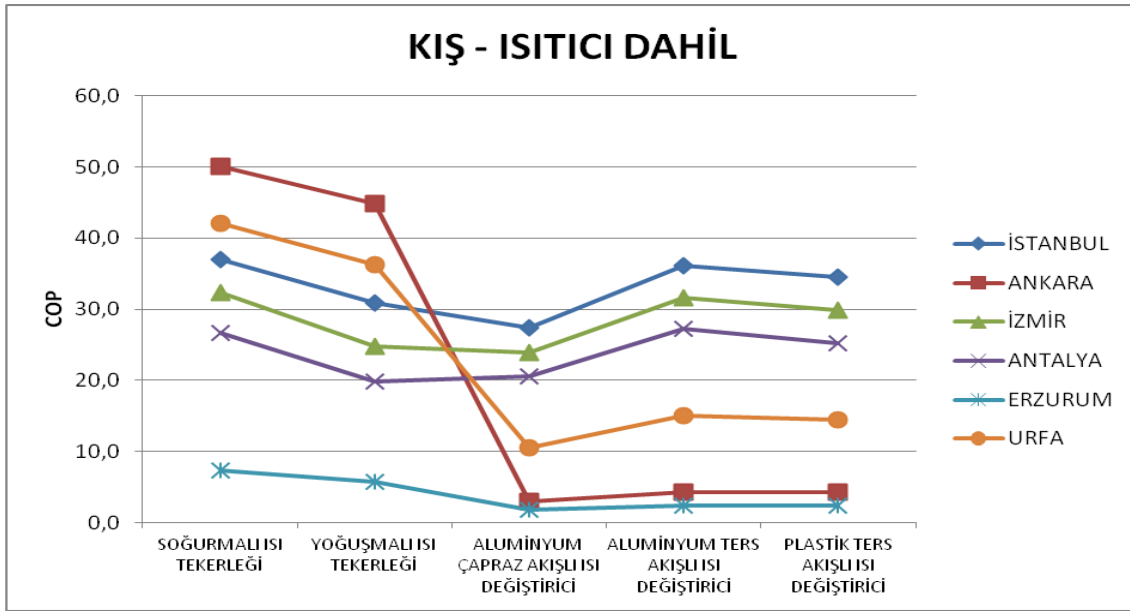
**Şekil 12** Yaz Koşullarında Çeşitli Isı Değiştiricilerin COP Değerleri



**Şekil 13** Kış Koşullarında Çeşitli Isı Değiştiricilerin COP Değerleri

Şekil 13'te aynı işlemin kış koşulları için sonuçları gösterilmiştir. Kışın ısı tekerli ısı geri kazanım cihazlarında COP değerleri yüksektir. Erzurum ve Ankara gibi çok soğuk bölgelerde ısı tekeri kullanımında COP değerlerinin diğer ısı değiştiricilere göre daha yüksek çıkmasının nedeni plakalı ısı değiştiricilerde donma sorununun başladığı sıcaklık  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  iken ısı tekerlerinde bu değer  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar inebilmesidir. Burada ön ısıtıcının COP'ye etkisi olmadığı kabul edilmiştir.

Şekil 14'te ön ısıtıcının COP'ye etkisi hesaba katılmıştır. Elektrikli ısıtıcıların COP değeri çok düşük olduğu için kullanıldığı bölgelerde COP değerini düşürmektedir. Grafiğe göre dış sıcaklığın  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den düşük olduğu durumlarda ısı tekeri kullanımının avantajlı olduğu görülmektedir. Ankara ve Urfa illerinde ısı tekeri ve plakalı ısı değiştiriciler arasında büyük bir fark olmasının nedeni, bu bölgelerde dış hava sıcaklıklarının  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasında olmasıdır. Bu bölgelerde yalnızca plakalı ısı değiştirici kullanıldığında ön ısıtıcı gerekmektedir.



Şekil 14 Kış Koşullarında Çeşitli Isı Değiştiricilerin COP Değerleri (Ön Isıtıcı Hesaba Dâhil)

## SONUÇ

Genel olarak bakıldığında soğurmalı ısı tekerleri yüksek verimli oldukları ve ısı transferinin yanında nem transferini de gerçekleştirdiği için diğer ısı değiştiricilere kıyasla daha avantajlı görünmektedir. Nem transferi yapmayan ısı değiştiriciler arasında yoğuşmalı ısı tekeri ve ters akışlı ısı değiştiricinin yüksek verimli olduğu belirtilmiştir. Donma konusunda daha dayanıklı olmaları ısı tekerli cihazların başka bir avantajıdır.

Bunun yanında plakalı ısı değiştiriciler, ısı tekerlerine kıyasla boyut olarak daha küçük oldukları için asma tavan tipi uygulamaları için uygundur. Ayrıca maliyet ve bakım kolaylığı açısından avantajlıdır.

Isı geri kazanım uygulamasında cihaz tasarımı yapılırken yalnızca dış hava koşullarına değil; aynı zamanda gereken temiz hava miktarı (debi), cihazın kullanılacağı alan, ilk yatırım ve işletme maliyeti vb. parametreler de dikkate alınmalı, çıkan sonuçlar değerlendirilerek en uygun fan ve ısı değiştirici seçimi yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] Combined Heat and Mass Transfer in Rotating Regenerators, VDI Heat Atlas, 2010
- [2] <http://www.klingenburg.de/en/index.html>
- [3] <http://www.k-mpm.com/filter-en/E3-1A.html>
- [4] <http://www.recair.com/sensible-heat-recovery/rs160/>
- [5] ASHRAE Standard55 1992 with 1995 Addenda: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE: Atlanta 2005.
- [6] TOKSOY M., “Isıl Konfor ve Üretkenlik”, Makine Mühendisleri Odası TESKON, 1995
- [7] MMO, Klima Tesisatı, Yayın No 296-4, 2006

## ÖZGEÇMİŞ

### Meltem ALTIN

1989 yılı İstanbul doğumludur. 2011 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2011 yılından beri Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 2011 yılından bu yana ENEKO A. Ş. 'de Ar-Ge Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Isıtma, soğutma ve havalandırma konularında çalışmaktadır.

### 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. 1995-1996 yıllarında Meltem Klima A. Ş. 'de Tasarım Mühendisi, 1996-1997 Ege Endüstri A. Ş. 'de, 1997-2002 yıllarında Mekanik Klima A. Ş. 'de Proje Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2000-2011 yılları arasında VENCOA. Ş. 'de Ar-Ge yöneticisi olarak görev yapmıştır. 2011 yılından bu yana ENEKO A. Ş. 'de Ar-Ge yöneticisi olarak görev yapmaktadır. MMO, TTMD ve ASHRAE üyesidir.

### Hüseyin GÜNERHAN

1983 yılında İzmir Atatürk Lisesini bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1990 yılında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans öğrenimini 1992 yılında ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 1999 yılında tamamladı. 1991-2001 yılları arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi unvanı ile çalıştı. 2001-2012 yılları arasında, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2012 yılından itibaren aynı bölümde doçent doktor olarak çalışmaya devam etmektedir. Çalışma alanlarını, ısı transferi, termodinamik, ısı enerji depolama, ısı pompaları ve yeni enerji kaynakları oluşturmaktadır.

### T. Hikmet KARAKOÇ

1980 yılında Eskişehir Devlet Mühendislik Mimarlık Akademisi, Makina Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 1983 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Anabilim dalından Yüksek Mühendis unvanını almıştır. 1987 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim dalında Doktorasını bitirerek, Doktor unvanını almıştır. 1991 yılında Anadolu Üniversitesi, Makina Mühendisliği bölümünde doçent olarak göreve başlamıştır. 1997 yılından bu yana Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulunda Profesör olarak görev yapmaktadır. 2010 yılından bu yana Sivil Havacılık Araştırma ve Uygulama Merkezi Müdürü olarak görev yapmaktadır.