



bu bir MMO  
yayımıdır

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

## Isı Geri Kazanım Sistemleri

Tuncay YILMAZ

Çukurova Üni.  
Müh. Mim. Fak. Mak. Müh. Böl.

MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

BİLDİRİ

## İSİ GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ

Tuncay YILMAZ

### ÖZET

İşi geri kazanım sistemleri dünyada tesisat mühendisliğinin vazgeçilmez parçaları haline gelmiştir. Ülkemizde de artık yaygın olarak kullanılmaya başlanması gerekmektedir. Ülkemizdeki genel kanaatin aksine işi geri kazanım sistemleri kendini makül sürede geri ödeyen sistemlerdir. İşi geri kazanım sistemleri özelliklerine göre sınıflandırılmış ve çeşitli çalışma durumları için işi geri kazanım miktarlarının hesabı gösterilmiştir. Bu cihazların kullanımının uygun olacağını göstermek amacıyla ekonomik analizin nasıl yapılacağı açıklanmıştır.

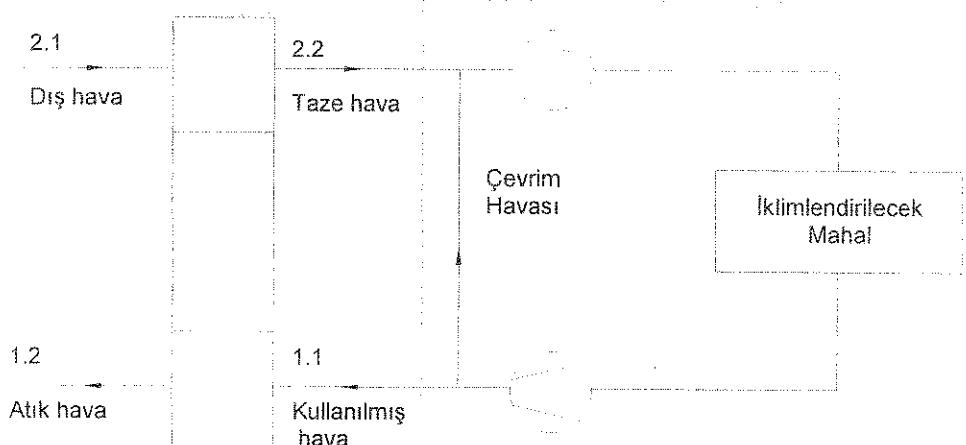
### GİRİŞ

Daha önceki kongrede işi geri kazanım sistemleri üzerine ayrıntılı bilgi verilmiştir[1, 2, 3]. Buradakilere ek olarak atık işi geri kazanımı için kütle transfer edebilen işi geri kazanım cihazları da önem kazanmaktadır[4]. İşi geri kazanımı artık sadece enerji tasarrufu amacıyla da yapılmamaktadır. İşi tasarruf etmek atmosfere daha az CO<sub>2</sub> atmak anlamında olduğundan bilhassa bu bakımdan enerji tasarrufu çevre bilincinin en önemli gereği haline gelmiştir.

Ülkemizde işi geri kazanımının yaygın olarak kullanılmamasının en önemli nedenleri işi geri kazanımının diğer ülkelerdeki gibi devlet tarafından teşvik edilmemesi, çevre bilincinin yetersizliği ve ayrıca işi geri kazanım cihazlarının çok ekonomik olmaması gibi doğru olmayan bir inancın var olmasıdır. Bundan dolayı da burada bilhassa ekonomik analize önem verilecektir.

### İSİ GERİ KAZANIM SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Çok çeşitli işi geri kazanım sistemleri kullanılmasına rağmen, en çok tercih edilenler Çizelge 1'de gösterilmiştir[5,6, 7]. Bu çizelgede sistemler rekuperatif ve rejeneratif olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Bu sistemlerin konstrüksiyon ve prensibi ile çalışma durumu ve beklenen gizli ve duyular işi geri kazanım sayıları belirtilmiştir.



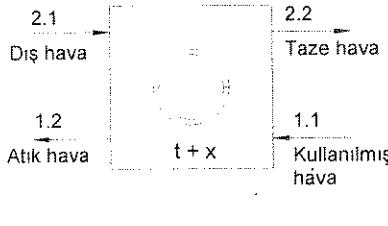
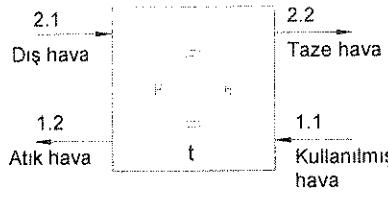
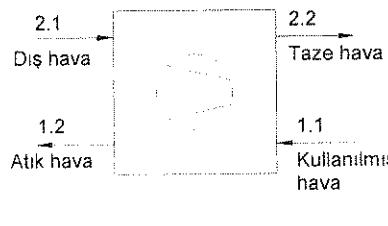
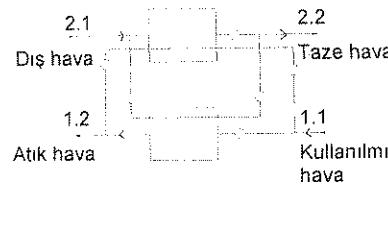
Şekil 1. Isı geri kazanım sistemli iklimlendirme

## Çizelge 1. Isı geri kazanım sistemlerinin sınıflandırılması

Sistem ve gösterimi	Konstrüksiyon ve çalışma prensibi	Uygulamaya Yönelik Bilgiler	Isı geri kazanım sayısı	
			Duyulur $\varepsilon^{(1), (2)}$	Gizli $\phi^{(2)}$
1. Reküperatif sistemler	Isı transfer eden dış ve atık hava tek bir cihaz şeklindedir. Eğer ciğ noktası altına inilirse, gizli ısı transferi mümkündür. Kütle transferi olanaksızdır. Donma ihtiyalî mevcuttur.	Diş hava ve atık hava kanallarının bir noktada birleşme şartları vardır. Malzeme istenen mukavemet, ısı transferi ve korozyon şartlarına uygun olarak seçilebilir. Isı transferi ancak by-pass şeklinde önlenebilir. Kontrol diş hava veya atık havanın by-pass edilmesi ile olanağıdır.		
1.1 Levhali Isı Eşanjörü	Akışkanları ayıran yüzeyler özel durumlarda vidalı, kaynaklı veya lehimli bağlantılı. Küp veya dikdörtgen prizma şeklindedir. Modül şeklinde yan yana ve arka arkaya eklenme olanağı vardır.	Bağlantı şecline ve oluşan basınç farkına göre sizıntı imkanı vardır. Levhalar arası mesafe levhanın toz ve atık madde içeriğine bağlıdır. Temizlenme imkanı mevcuttur.	0.4-0.6	-
2.1 Dış hava	2.2 Taze hava			
1.2 Atık hava	1.1 Kullanılmış hava			
1.2 Borulu Isı Eşanjörü	Ince kanallı borular, aynaya makinetö veya kaynakla bağlanır. Boru çapı ve boru aralıkları seçime bağlıdır. Plastik ve cam borular da kullanılabilir.	Çok kirli hava akımlarında kullanılması tavsiye edilir. Boru çaplarının büyük seçilmesiyle mekanik ve pnöymatik temizlik iyileşir. Boruların temizlik için saptırmalı yerine düzgün yerleştirilmesi uygundur.	0.3-0.6	-
2.1 Dış hava	2.2 Taze hava			
1.2 Atık hava	1.1 Kullanılmış hava			

2. Rejeneratif Sistemler					
2.1 Zorlanmış Dolaşımlı Sistemler (ZDS)		<p>Isı transferi dış ve atık hava kanalları üzerinde bulunan eşanjör vasıtasyyla yapılmaktadır. Bu eşanjörler birbirleriyle borularla bağlantılı olup, iki eşanjör arasındaki ısı alış verisi borularda dolaşan bir akışkan vasıtasyyla yapılmaktadır. Isı taşıyıcı akışkan olarak genelde su veya don önleyici katkılı su kullanılmaktadır. Devri daim bir sıvı pompasıyla yapılmaktadır. Kontrol bir karıştırma kontrol vanası ile sağlanmaktadır. Çığ noktasının altında gizli ısı transferi mümkün olup, don tehlikesi olabilir.</p>	ZDS sistemleri birbirinden uzakta olan dış ve atık hava kanallarında da ısı geri kazanımını olaklı kılar. Hava akımlarının aynı noktası birleşme şartları yoktur. Bunun için sonradan eklenecek ısı kazanım cihazları için gayet uygundur. Ancak ek pompaya ihtiyaç vardır. Dış ve atık havanın karışma ihtimali hiç yoktur. Bundan dolayı da içinde sakincalı madde bulunan atık hava için bilhassa uygundur. Malzeme istenildiği gibi seçilebilir. Sıvı akımının kontrolü ile ısı geri kazanım miktarı %0-100 arasında ayarlanabilir.		
2.1.1 Normal ZDS					
2.1 Dış hava	2.2 Taze hava	Ticari düz ve kanaçıklı borulu ısı eşanjörlerinin birleştirilmesiyle elde edilir.	Korozif ve çok kirli atık hava tarafında düz ve plastik borulu ısı eşanjörlerinin ve dış hava için ise kanaçıklı ısı eşanjörlerinin kullanılması uygundur. Eşanjörlerin karşı bağlanması etkinliği arttırmaktadır.	0.3-0.5	-
2.1.2 Karşıt Akışı Katmanlı ZDS					
2.1 Dış hava	2.2 Taze hava	Karşı akışı-katmanlı ZDS hava akımına paralel ve herbiri tek başına fonksiyon yapabilen modüllerin beraberce bağlanmasıyla oluşur. Su ve havanın tam karşı akışı sağlanarak etkinlik yükseltilir. Her modül su tarafından ayrı ayrı kapatılabilir, boşaltılabilir veya doldurulabilir.	Bu sistem, tamamen parçalarına ayrılabilir ve çok kolay montaj ve demontaj yapılabilir. Onun için temizlenmesi kolaydır.	0.7-0.8	
Atık hava	Kullanılmış hava				

2.2 İşi Boruları	<p>İş geri kazanım cihazı içi bir ısı taşıyıcı akışkan<sup>(5)</sup> ile doldurulmuş birçok borudan oluşur. Sıcak akışkanın ısı çekilerek buharlaştırılan ısı taşıyıcı akışkan soğuk akışkan tarafından yoğunşarık aldığı ısıyı verir. Yoğunlaşan akışkan herhangi bir ek tahrik olmadan tekrar buharlaşacağı yere geri döner. Çığ noktası aşıldığında gizli ısı transfer edilebilir. Kütle transferi mümkün değildir.</p>				Dış ve atık hava kanallarının bir noktaya getirilmeleri gereklidir. Malzeme gerektiği gibi seçilebilir. İşi geri kazanım etkinliği by-pass veya yataya göre sistemin eğiminin değiştirilmesi ile mümkündür.		
2.2.1 Termosifonlu İşi Borusu	Kılıcallı parçası olmadan düz borulardan veya kanatçıklı borulardan imal edilir. Akışkan hareketi yer çekimi ile sağlanır.	Çok küçük sıcaklık farklarında ( $<10^{\circ}\text{C}$ ) pek uygun değildir. İşi geri kazanım etkinliği eğimle kontrol edilebilir.	0.2-0.4				
2.1 Dış hava	2.2 Taze hava	1.2 Atık hava	1.1 Kullanılmış hava				
2.2.2 Kılıcallı İşi Borulu	<p>Düz veya kanatçıklı borulardan ve bunlar içine yerleştirilen kılıcallık parçalarından meydana gelir.</p>				Eğim açısının değişimiyle %0-100 arasında hem ısı hem soğu geri kazanımı kontrolü olanaklıdır.	0.5 -0.8	
2.1 Dış hava	2.2 Taze hava	1.2 Atık hava	1.1 Kullanılmış hava				
3. Dönen veya Duran Rejeneratörler	<p>Atık havadan alınan ve katı maddede depolanan ısı belirli bir zamandan sonra dış havaya aktarılır.</p>				Dış hava ve atık hava kanallarının bir noktaya getirilmesi zorunludur. Sızıntılar olması muhtemeldir.		

3.1 Dönen Rejeneratörler	<p>Dönen ısı depolama malzemesini içeren rotor ile atık ve dış hava arasında ısı transferi yapılır. Rotorun yaklaşık yarısı dış hava, yarısı atık havaya ayrılr. Rotorun dönme devir sayısının ayarlanmasıyla ısı geri kazanım etkinliği ayarlanır. Dönmeden dolayı iki hava akımının karışması önlenemez.</p>	<p>Vantilatörlerin hava kanallarına yerleştirilmesi sayesinde basınç gradyanı dış havadan atık havaya doğru olmalıdır. Uygun süre çalıştırılmazlarsa ilk hareket problemleri çıkabilir. Yataklarda aşınmalar olabilir. Dönme tehlikesi vardır.</p>			
3.1.1 Adsorpsiyonlu Rejeneratörler	<p>Döner</p> 	<p>Dönen ısı depolama malzemesi yüzeyinde nemi adsorbe yapabilecek higroskopik yüzey kaplama mevcut.</p>	<p>Gizli ısı geri kazanımı yüksek olabilecek uygulamalarda bilhassa önemli.</p>	0.7-0.8	0.6-0.7
3.1.2 Adsorpsiyonsuz Döner Rejeneratörler	<p>Döner</p> 	<p>Dönen ve depolama maddesi yüzeyinde higroskopik madde yok. Ancak çığ noktası aşıldığında gizli ısı transferi olanaklı.</p>	<p>Gizli ısı geri kazanımının olmadığı uygulamalarda kullanılabilir. Hiç bir surette nem transferine izin verilmeyen yerlerde kullanılamaz.</p>	0.6-0.8	0.1-0.2
3.2 Kılcallı Vantilatör	<p>Kılcallı Vantilatör</p> 	<p>Aynı zamanda ısı geri kazanımı ve hava basmaya yarayan bir cihaz. Vantilatör çarkı dış ve atık havayı basarken bunlar arasında ısı ve nem transferini de sağlamaktadır.</p>	<p>Çok özel olmayan tesisat mühendisliği uygulamalarında kullanılabilir. Dış ve atık hava karışması tehlikesi vardır. Isı geri kazanımını kontrol etmek mümkün değildir.</p>	0.2-0.4	0.2-0.4
3.3 Çift Depolu Rejeneratör	<p>Çift Depolu Rejeneratör</p> 	<p>Bu cihaz iki adet içi metal lehvalarla dolu depodan oluşmaktadır. Bu depolarдан sırayla dış ve atık hava geçirmektedir. Hava kanallarındaki damperler motorlarla kontrol edilirler. Temizlenme imkanları vardır.</p>	<p>Çok özel olmayan tesisat mühendisliği uygulamalarında kullanılabilir. Hava karışımı tehlikesi vardır. Isı geri kazanım etkinliğini aç-kapa işlem periyodu değiştirerek kontrol etmek olanaklı. Damper motorları için de təhrik gereklidir.</p>	0.6-0.8	0.5-0.7

4. İSİ POMPALARı		Daha düşük sıcaklıklı hava akımından ısı çekerek daha yüksek sıcaklıklı hava akımına ısı veren bir cihazdır.	İSİ POMPALARı tesisat mühendisliğinde genelde soğutma işlemlerinde kullanılmaktadır.		
4.1. Kompresörlü İSİ POMPALARı		Bilinen buhar sıkıştırılmış soğutma çevriminin uygulanması. Tahrık elektromotorla olduğu gibi içten yanmalı motorlarla da yapılabilir. Bu durumda motorların eksoz ve soğutma ısısından yararlanılabılır.	Küçük güçlerde pistonlu, büyük güçlerde rotasyon kompresörler kullanılır.	(4) >1	(4) >1
2.1 Dış hava	2.2 Taze hava				
1.2 Atık hava	1.1 Kullanılmış hava				
4.2. ABSORPSİYONLU İSİ POMPALARı		Yüksek kapasiteli sistemlerde kullanılması tavsiye edilmektedir. Verimli çalışması için en az 150°C bir ısı kaynağına ihtiyaç gösterir.	Sıcaklığı 30-50°C merkezinde artırmak mümkündür.	(4) >1	
2.1 Dış hava	2.2 Taze hava				
1.2 Atık hava	1.1 Kullanılmış hava				

- 1) hava sızıntısına dikkat edilmelidir.
- 2) Verilen değerler tüm sistemler için karakteristik değerlerdir. Hızlar 2.5-3.5 m/s ve basınç farkları 100-400 Pa alınmıştır.
- 3) Karşılıklı paralel bağlama durumunda daha yüksek ısı geri kazanım etkinliği mümkün.
- 4) Ek enerjiden dolayı etkinlik 1 den büyük olabilir.
- 5) Soğutucu akışkan seçerken dikkat edilmelidir.

Yanlış anımları önlemek amacıyla şekil 1'de gösterilen sistemde gerekli tanımlamalar yapılmıştır.

Atmosferden alınan hava dış hava, ısı geri kazanım sisteminden geçen dış hava da taze hava olarak adlandırılmaktadır. İklimlendirilen mahalden emilen hava kullanılmış hava ve ısı geri kazanım cihazından geçen ve atmosfere verilen kullanılmış hava da atık hava olarak adlandırılacaktır. İşi geri kazanım cihazı (IGKC) na giriş 1, çıkış 2 için de 2 indisleri gösterilmiştir. Buna göre dış hava 21, taze hava 22, kullanılmış hava 11 ve atık hava 12 indisleriyle verilmiştir. IGKC'na giren havayı, hava debisi  $\dot{m}$ , sıcaklık  $t$ , mutlak nem  $x$ , entalpi  $h$  ve basınç  $P$  belirlemektedir. Cihazın boyutlandırılması ve ekonomik analizi için ise ısı geri kazanım etkinliği (IGKE)  $\varepsilon$ , nem geri kazanım etkinliği (NGKE)  $\phi$  ve basınç farkı  $\Delta P$  önemlidir.  $\varepsilon$  en genel şekilde entalpi geri kazanım katsayısı  $\varepsilon_h$  olarak tarif edilir.

$$\varepsilon_h = \frac{\dot{m}_2 \cdot h_{22} - \dot{m}_2 \cdot h_{21}}{\dot{m}_1 \cdot h_{11} - \dot{m}_2 \cdot h_{21}} \quad (1)$$

Dış ve atık hava debileri genelde birbirlerine eşittir. Bu durumda

$$\varepsilon_h = \frac{h_{22} - h_{21}}{h_{11} - h_{21}} \quad (2)$$

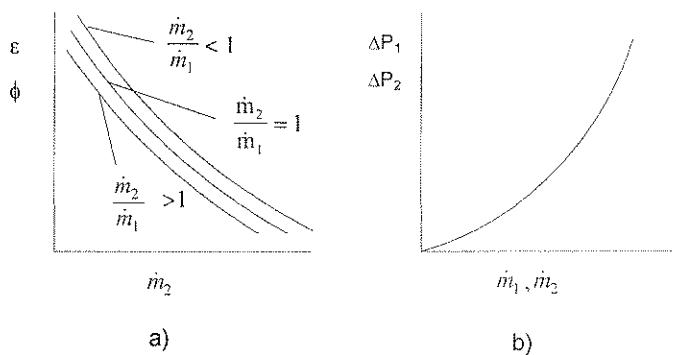
olarak basitleştir. Eğer sadece duyular ısı transferi söz konusu is IGKE aşağıdaki duruma indirgenir.

$$\varepsilon_h = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}} \quad (3)$$

Bu tarifler dış hava esas alınarak yapılmıştır. Bunlara benzer şekilde atık hava esas alınarak da etkinlik tarifleri yapmak olanağıdır. Sadece nem ile gizli ısı transfer edilse eşitlik (2) den  $h=r.x$  bağıntısı dikkate alınarak

$$\phi = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}} \quad (4)$$

bağıntısı yazılabilir.  $r$  buharlaşma gizli ısısıdır.  $\varepsilon$  ve  $\phi$  değerleri ile basınç kayıpları  $\Delta P_1$  ve  $\Delta P_2$  hava debilerine bağlı olarak değişirler. Şekil 2'de bu değişimler gösterilmiştir.



**Şekil 2. a)  $\varepsilon$ ,  $\phi$  nin b)  $\Delta P_1$  ve  $\Delta P_2$  nin hava debileriyle değişimi**

Cihaza giriş-çıkışındaki basınç kayıpları harcanan ek enerjiler için önemli olurken, iki akım arasındaki basınç farkları ile her akımdaki basınç ile atmosfer arasındaki basınç farkları da sistemin sızıntıları ve iki akım

arasındaki karışma için fevkalede önemlidir. Cihazların kullanılmış hava tarafında zararlı ve kokulu maddelerin bulunması durumundaki performansları çizelge 2'de açıklanmıştır[5].

**Çizelge 2.** Cihazların zararlı ve kokulu madde bakımından performansları

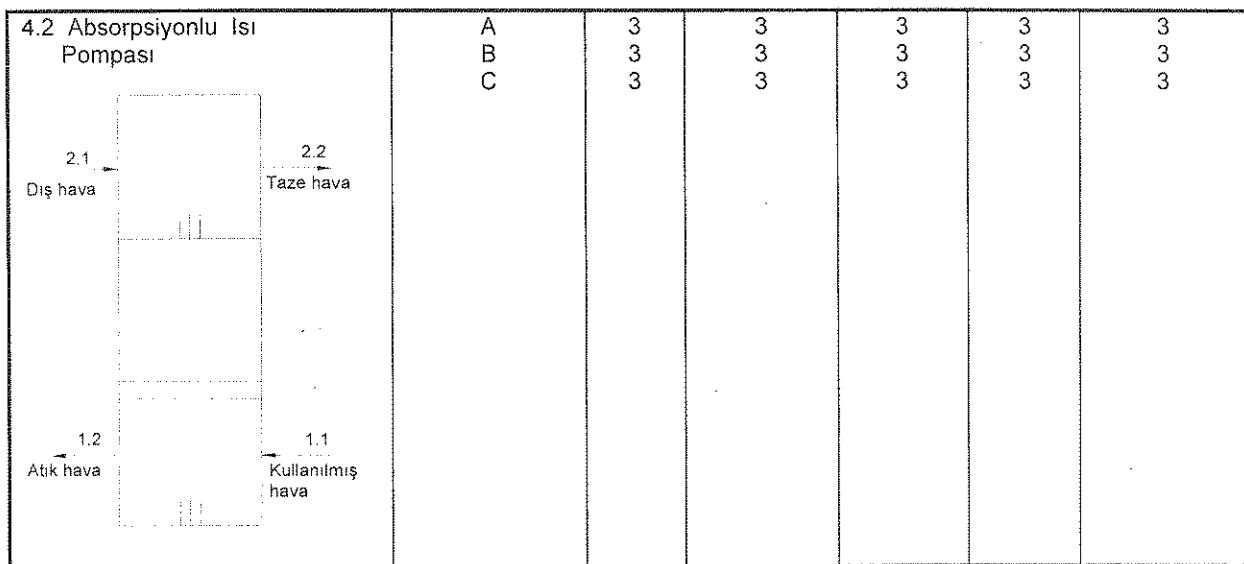
Kısaltmalar	A	Az miktarda zararlı ve kokulu maddenin atık havadan dış havaya transferinde sakınca yoktur.
	B	Normal çalışma şartlarında zararlı ve kokulu madde transferi olmamalıdır.
	C	Çalışmaya ara verilmesi veya arıza durumunda dahi zararlı ve kokulu madde transferi olmamalıdır.

0 Uygun değil; 1 Pek uygun değil; 2 ek önlemlerle uygun; 3 uygun.

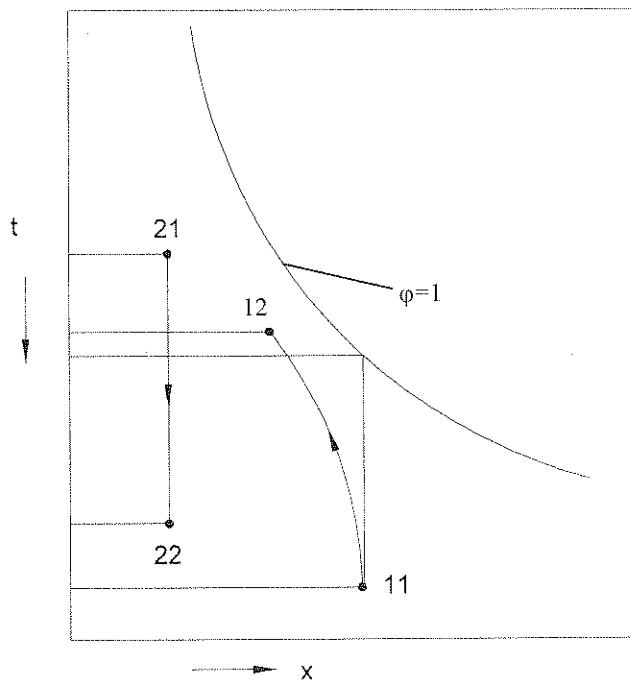
Cihaz	Tercih edilen transfer şekli	Koku için	Mikroplar için	Toz ve iplik için	Yağlar için	Yanma veya toksik gazlar için
<b>1. Rekuperatörler</b>						
1.1 Levhali Isı Eşanjörleri						
2.1 Dış hava	2.2 Taze hava	A B C	3 2 0	3 2 0	3 2 0	1 2 0
1.2 Atık hava	1.1 Kullanılmış hava					
1.2 Borulu Isı Eşanjörü						
2.1 Dış hava	2.2 Taze hava	A B C	3 2 0	3 2 0	3 2 0	1 2 0
1.2 Atık hava	1.1 Kullanılmış hava					
<b>2. Rejeneratif Sistemler</b>						
2.1 Zorlanmış Dolaşmalı Sistemler						
2.1.1 Normal ZDS						
2.1 Dış hava	2.2 Taze hava	A B C	3 3 3	3 3 3	3 3 3	3 3 3
1.2 Atık hava	1.1 Kullanılmış hava					

2.1.2 Karşılık Aksı Katmanlı ZDS	A B C	3 3 3	3 3 3	3 3 3	3 3 3	3 3 3
2.2 Isı Boruları						
2.2.1 Termesifontlu Isı Borusu	A B C	3 2 2	3 2 2	3 2 2	3 2 2	3 2 2
2.2.2 Kilcallı Isı Borusu	A B C	3 2 2	3 2 2	3 2 2	3 2 2	3 2 2
3. Dönen veya duran Rejeneratörler						
3.1 Döner Rejeneratörler						
3.1.1 Adsorpsiyonlu Döner Rejeneratörler	A B C	2 2 0	2 1 0	3 2 0	2 2 0	0-1 0 0

3.1.2 Adsorpsiyonsuz Döner Rejeneratörler		A	2	2	3	3	1
		B	1	1	1	1	0
2.1 Diş hava	2.2 Taze hava	C	0	0	0	0	0
1.2 Atık hava	1.1 Kullanılmış hava						
3.2 Kilcallı Vantilatörler		A	1	1	1	1	0
2.1 Diş hava	2.2 Taze hava	B	0	0	0	0	0
		C	0	0	0	0	0
1.2 Atık hava	1.1 Kullanılmış hava						
3.3 Çift Depolu Rejeneratörler		A	1	1	1	1	0
2.1 Diş hava	2.2 Taze hava	B	0	0	0	0	0
		C	0	0	0	0	0
1.2 Atık hava	1.1 Kullanılmış hava						
4. İşi Pompaları							
4.1 Kompresörlü İşi Pompası		A	3	3	3	3	3
2.1 Diş hava	2.2 Taze hava	B	3	3	3	3	3
		C	3	3	3	3	3
1.2 Atık hava	1.1 Kullanılmış hava						

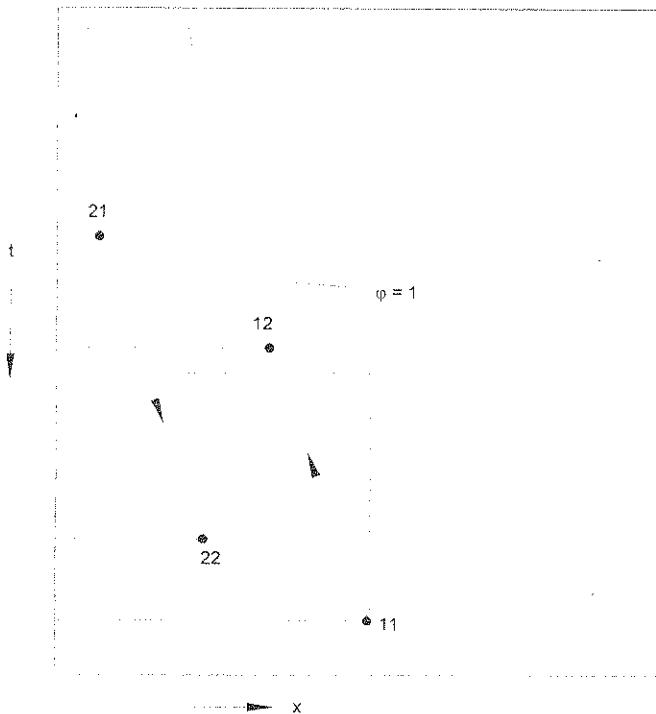


Rekuperatörlerde sıcaklıkların psikrometrik diyagramda değişimi şekil 3'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Rekuperatörlerde sıcaklık değişimi.

Dış hava ısınırken, atık hava çığ noktası sıcaklığı altına düştüğünde mutlak nemde de düşme olacaktır. Yoğuşma olma durumundaki etkinlik yoğunlaşma olmama durumuna göre daha büyütür. Zorlanmış dolaşımlı sistemlerde de benzer durum vardır. Döner veya çift depolu rejeneratörlerde atık hava sıcaklığı çığ noktası sıcaklığı altına düştüğü takdirde atık havanın nemİ azalırken, dış hava neminde de artma görülür. Bu durum şekil 4'de psikrometrik diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 4. Döner ve çift depolu rejeneratörlerde sıcaklık ve nem değişimi

## ENERJİ GERİ KAZANIMIN HESAPLANMASI

Enerji geri kazanımının ekonomikliğini araştırmak için geri kazanılacak enerjinin hesaplanması gereklidir. Bir klima tesisatında EGKC olmadan ön ısıticıda belirli bir  $Q$  ısısına ihtiyaç vardır. Bu  $Q$  ısısından  $Q_R$  kısmı geri kazanılmakta olup, EGKC bulunduğuunda sadece

$$Q_i = Q - Q_R \quad (1)$$

ısısına ihtiyaç duyulacaktır. Bu ısınların hesaplanması için çeşitli yöntemler vardır[5, 8, 9]. Burada daha açıklayıcı ve anlaşılır olması bakımından grafik derece-saat yöntemi [9] açıklanacaktır.

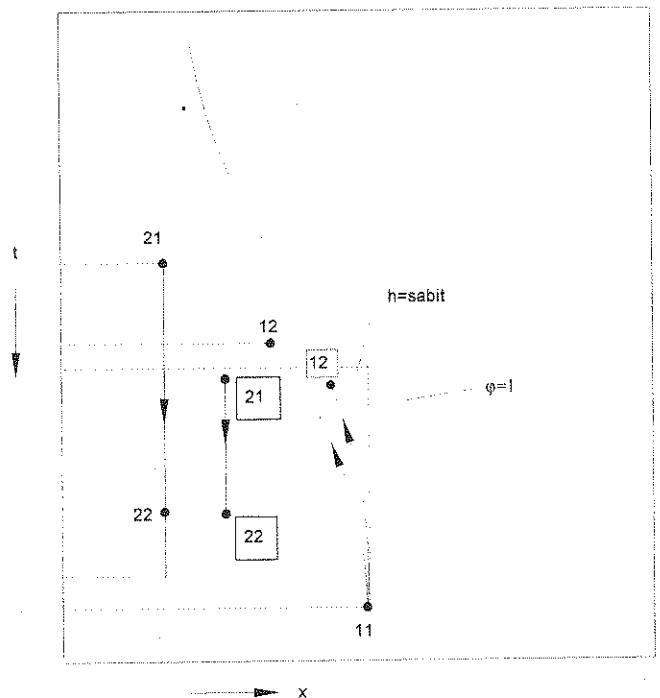
IGK miktarının hesaplanmasında klima tesisatının otomatik kontrolü ve nemlendirme şéklinin de önemi büyüktür.

Entalpi kontrolünde IGKC, ön ısıtıcı ve nemlendiriciden çıkan havanın sabit bir entalpide yani sabit bir çiğ noktası sıcaklığında olması istenir. Bu entalpiye  $h_s$  denir, ki bu da genelde mahal çiğ noktası sıcaklığı civarındadır.

Sıcaklık kontrolünde ise IGKC ve ön ısıticıdan çıkan havanın belirli bir sıcaklıkta olması istenir. Bu sıcaklık da  $t_s$  olarak adlandırılır. IGKC lar, daha önce belirtildiği gibi, iki ana grupta toplanabilir. Bunlar duyulur ısı geri kazanım cihazları ve gizli-duyulur ısı geri kazanım cihazlarıdır. Bu açıklamalara göre dört ayrı durum söz konusudur.

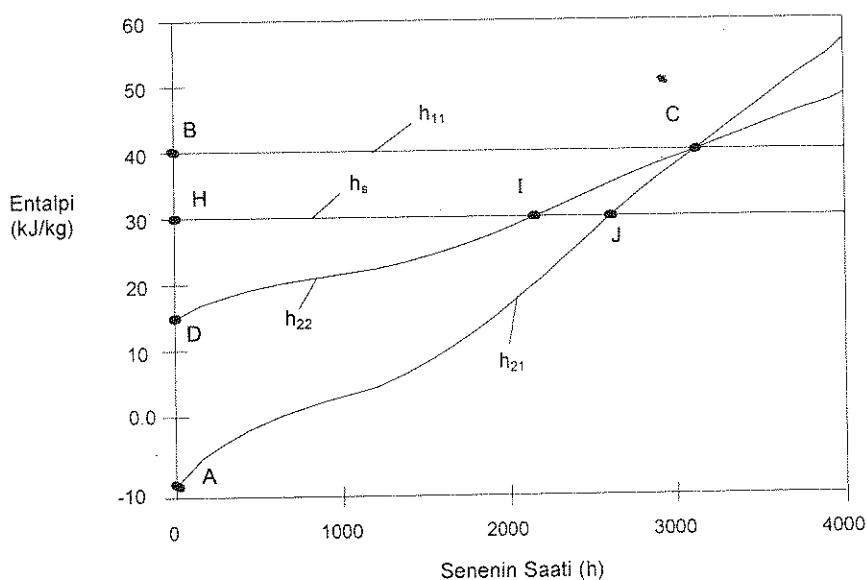
### Durum 1: Duyulur IGKC ve entalpi kontrolü

Bu durumda klima tesisatında IGKC'nda nem artışı yoktur ve sistemde hava ön ısıticidən sonra su ile nemlendirilmektedir. Şekil 5'de bu durum psikrometrik diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 5. Duyulur IGKC da entalpi kontrolü

Bu durumda IGK'nın hesabı için şekil 6'da verilen dış hava entalpisinin senenin saatlerine göre değişimi çizilir.



Şekil 6. Duyulur IGKC ve entalpi kontrolünde IGK hesabı

Bu şekilde

$$AHJ \text{ alanı} = q_h \quad (2)$$

$$ADIJ \text{ alanı} = q_{hR} \quad (3)$$

$$DHI \text{ alanı} = q_{hl} \quad (4)$$

olarak adlandırıldığında ıslalar da aşağıda verilmiştir.

$$Q = \dot{m}_l \cdot f_g \cdot f_h \cdot q_h \quad (5)$$

$$Q_R = \dot{m}_l \cdot f_g \cdot f_h \cdot q_{hR} \quad (6)$$

$$Q_l = \dot{m}_l \cdot f_g \cdot f_h \cdot q_{hl} \quad (7)$$

Şekil 6 daki  $h_{22}$  entalpisi

$$h_{22} = h_{21} + \varepsilon_2 \cdot C_p \cdot (t_{11} - t_{21}) \quad (8)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Eşitlik (5)-(7)'deki  $f_h$  faktörü haftalık çalışma durumunu belirten bir faktör olup, tüm hafta boyunca kullanılan sistemler için

$$f_h = 1.0 \quad (9)$$

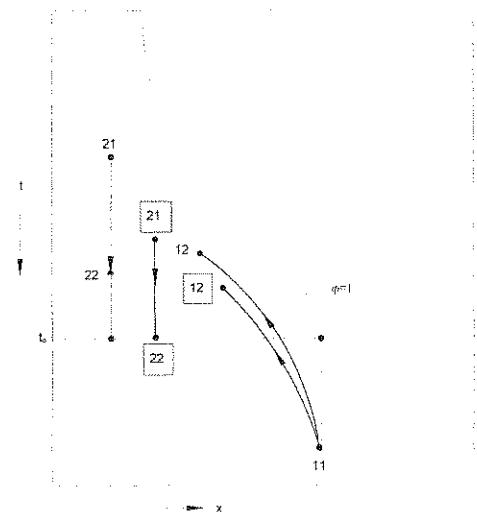
dir. Sadece cumartesi-pazar çalışmayan sistemler için  $f_h=5/7$  olarak alınabilir. Ancak bayram tatilleri de dikkate alınarak

$$f_h = 0.67 \quad (10)$$

olarak tavsiye edilir. Diğer durumlarda (örneğin sadece pazar veya yarım cumartesi+pazar) bunlara uygun faktörler seçilmelidir.  $f_g$  katsayıyı günlük çalışma saatleriyle ilgili olup, 0-24 saatleri arasında sürekli çalışan sistem için  $f_g=1$  dir. Aralıklı çalışma durumunda çizelge 3'te verilen  $f_g$  değerleri kullanılmalıdır. Aynı sürede gündüzleri  $f_g$  daha düşük geceleri ise daha yüksektir. Örneğin çizelge 3'den 07:00-19:00 saatleri arasında 12 saatlik süre için  $f_g=0.44$  olmasına karşın 19:00-07:00 arasında  $f_g$  0.5'ten büyük ve  $f_g=0.56$  dir.

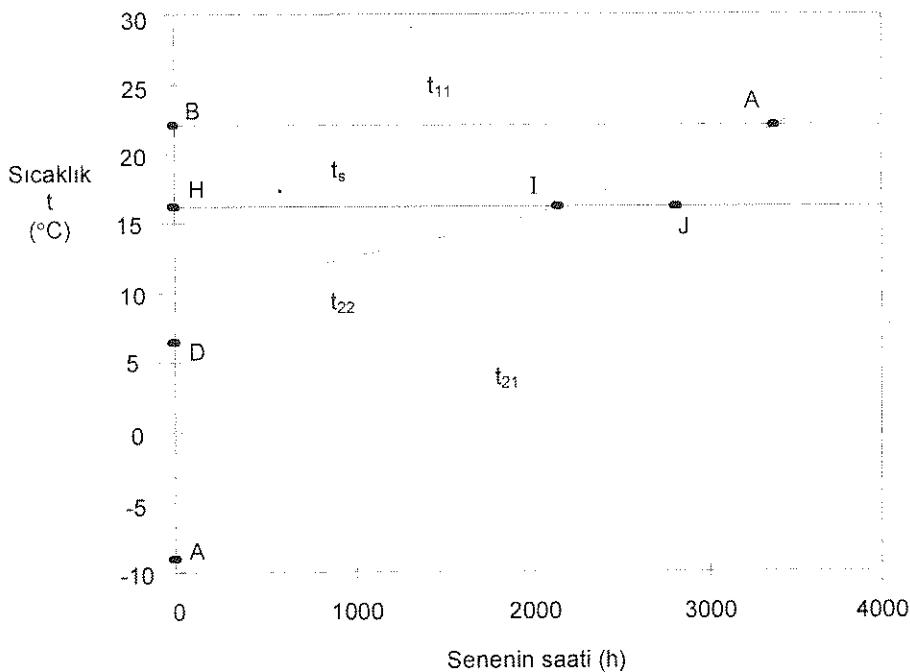
## Durum 2: Duyulur IGKC İ ve sıcaklık kontrollü iklimlendirme sistemi

Bu durum için psikrometrik diyagramda durum değişimi şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Duyulur IGKC İ ve sıcaklık kontrollü iklimlendirme sistemi

Buhar nemlendiricili bir tesisat sisteminde görülen bu durum için sıcaklık-saat diyagramı şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Duyulur IGKC ve sıcaklık kontrolünde IGK hesabı

Burada (2), (3) ve (4) eşitliklerine benzer şekilde

$$\text{AHJ alanı} = q_t \quad (11)$$

$$\text{ADIJ alanı} = q_{IR} \quad (12)$$

$$\text{DHI alanı} = q_H \quad (13)$$

ve eşitlik (5), (6) ve (7)'ye benzer şekilde de

$$Q = \dot{m}_I \cdot f_g \cdot f_h \cdot q_h \quad (14)$$

$$Q_R = \dot{m}_I \cdot f_g \cdot f_h \cdot q_{IR} \quad (15)$$

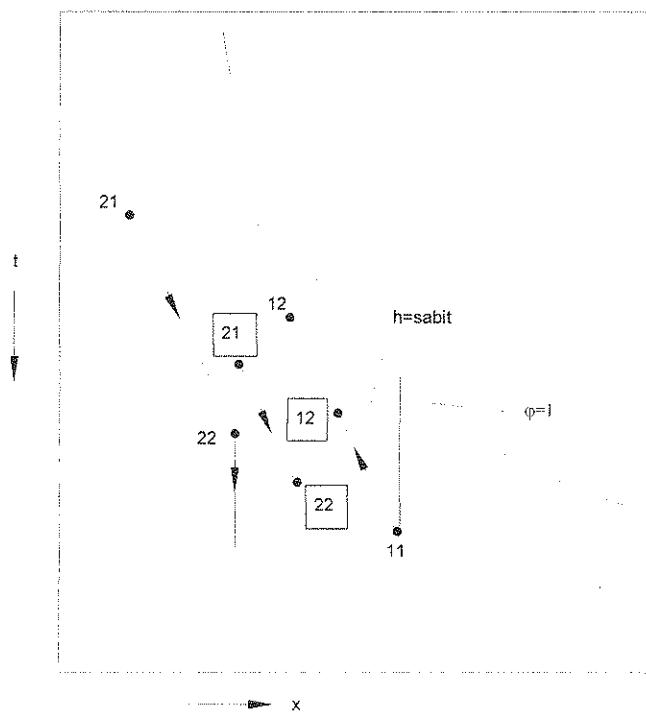
$$Q_I = \dot{m}_I \cdot f_g \cdot f_h \cdot q_H \quad (16)$$

şeklinde IGKC siz, IGKC li ve geri kazanılan ısı miktarları belirlenmiş olur.  $t_{22}$  sıcaklığı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

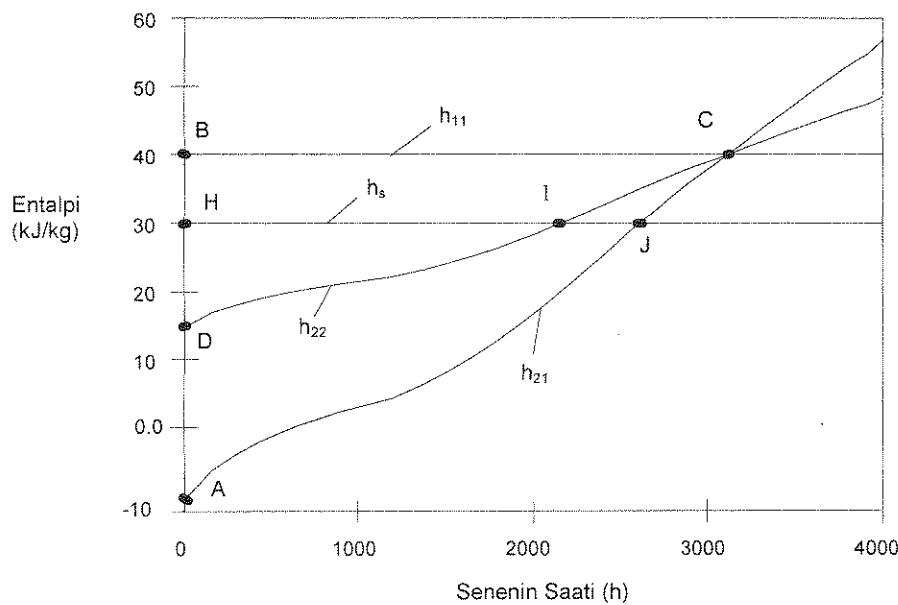
$$t_{22} = t_{21} + \varepsilon_2 \cdot (t_{11} - t_{21}) \quad (17)$$

### Durum 3: Gizli-Duyulur IGKC li ve entalpi kontrollü iklimlendirme cihazı

Adsorpsiyon özellikli yüzeyi bulunan veya kontakt yüzeyli olan bir IGKC ve su ile nemlendiricisi bulunan bir iklimlendirme sisteminde görülebilen bu durumda psikrometrik diyagramdaki değişimler şekil 9'da verilmiştir.



**Şekil 9.** Gizli-duyular IGKC ve entalpi kontrollü iklimlendirme sistemi



**Şekil 10.** Duyular-Gizli IGKC ve entalpi kontrolü IGK hesabı.

Şekil 10'da entalpinin senenin saatleri ile değişimi verilmiştir.

Bu durumda eş. (2)-(7) aynı şekilde kullanılabilir. Ancak  $h_{22}$  aşağıdaki gibi belirlenmelidir.

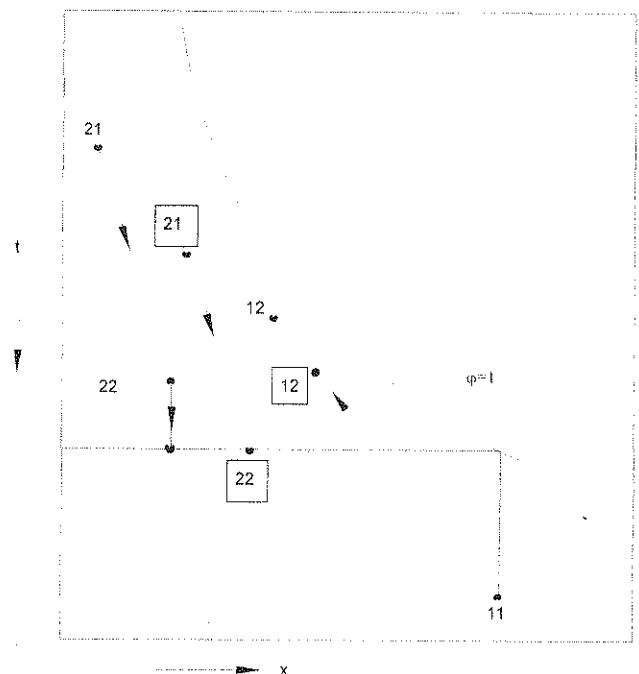
$$h_{22} = h_{21} + \varepsilon_2 \cdot (t_{11} - t_{21}) + \phi_2 \cdot (x_{11} - x_{21}) \cdot r \quad (18)$$

Çizelge 3. Günlük işletme faktörü  $f_g$ 

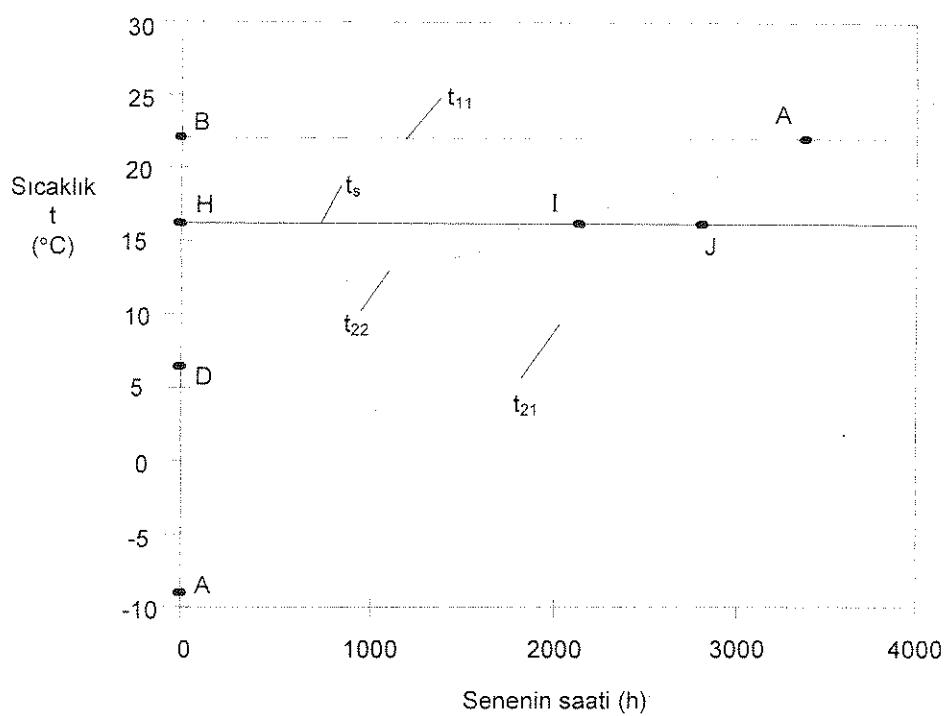
Saat	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
0:00	0.05	0.1	0.14	0.19	0.24	0.29	0.34	0.38	0.42	0.46	0.5	0.54	0.57	0.6	0.64	0.67	0.7	0.74	0.78	0.82	0.86	0.91	0.95	1
1:00	1	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.33	0.37	0.42	0.46	0.49	0.52	0.56	0.59	0.62	0.66	0.69	0.73	0.77	0.82	0.86	0.9	0.95
2:00	0.95	1	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.28	0.33	0.37	0.41	0.44	0.47	0.51	0.54	0.57	0.61	0.65	0.69	0.72	0.77	0.81	0.86	0.9
3:00	0.9	0.95	1	0.05	0.1	0.15	0.2	0.23	0.28	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.49	0.52	0.56	0.6	0.64	0.67	0.72	0.76	0.81	0.86
4:00	0.85	0.9	0.95	1	0.05	0.1	0.15	0.18	0.23	0.27	0.3	0.34	0.37	0.41	0.44	0.47	0.51	0.55	0.59	0.62	0.67	0.72	0.76	0.81
5:00	0.8	0.85	0.9	0.95	1	0.05	0.1	0.14	0.18	0.22	0.26	0.29	0.32	0.36	0.39	0.42	0.46	0.5	0.54	0.57	0.62	0.67	0.71	0.76
6:00	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1	0.05	0.09	0.13	0.17	0.21	0.24	0.27	0.31	0.34	0.38	0.41	0.45	0.49	0.53	0.57	0.62	0.66	0.71
7:00	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1	0.04	0.09	0.13	0.16	0.19	0.23	0.26	0.3	0.33	0.37	0.4	0.44	0.48	0.52	0.57	0.61	0.66
8:00	0.67	0.72	0.77	0.82	0.86	0.91	0.96	1	0.04	0.08	0.12	0.15	0.18	0.21	0.25	0.29	0.32	0.36	0.4	0.44	0.48	0.52	0.57	0.62
9:00	0.63	0.67	0.72	0.77	0.82	0.87	0.91	0.96	1	0.04	0.08	0.11	0.14	0.17	0.2	0.25	0.28	0.32	0.35	0.4	0.44	0.48	0.53	0.58
10:00	0.58	0.63	0.68	0.73	0.78	0.83	0.87	0.92	0.96	1	0.04	0.07	0.1	0.13	0.17	0.21	0.24	0.28	0.31	0.36	0.4	0.44	0.49	0.54
11:00	0.54	0.59	0.65	0.7	0.74	0.79	0.84	0.88	0.92	0.96	1	0.03	0.07	0.1	0.13	0.17	0.2	0.24	0.27	0.32	0.34	0.4	0.45	0.5
12:00	0.51	0.56	0.61	0.66	0.71	0.76	0.81	0.85	0.89	0.93	0.97	1	0.03	0.07	0.1	0.13	0.16	0.2	0.24	0.28	0.33	0.37	0.41	0.46
13:00	0.48	0.53	0.58	0.63	0.68	0.73	0.77	0.82	0.86	0.9	0.93	0.97	1	0.03	0.07	0.1	0.13	0.17	0.21	0.25	0.3	0.34	0.38	0.43
14:00	0.44	0.49	0.54	0.59	0.64	0.69	0.74	0.79	0.83	0.87	0.9	0.93	0.97	1	0.03	0.07	0.1	0.14	0.17	0.22	0.27	0.3	0.35	0.4
15:00	0.41	0.46	0.51	0.56	0.61	0.66	0.7	0.75	0.8	0.83	0.87	0.9	0.93	0.97	1	0.04	0.07	0.1	0.14	0.19	0.23	0.27	0.32	0.36
16:00	0.38	0.43	0.48	0.53	0.58	0.62	0.67	0.71	0.75	0.79	0.83	0.87	0.9	0.93	0.96	1	0.03	0.07	0.11	0.16	0.2	0.24	0.29	0.33
17:00	0.34	0.39	0.44	0.49	0.54	0.59	0.63	0.68	0.72	0.76	0.8	0.84	0.87	0.9	0.93	0.97	1	0.04	0.08	0.12	0.16	0.2	0.25	0.3
18:00	0.31	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.64	0.68	0.72	0.76	0.8	0.83	0.86	0.9	0.93	0.96	1	0.04	0.08	0.12	0.17	0.21	0.26
19:00	0.27	0.31	0.36	0.41	0.46	0.51	0.56	0.6	0.65	0.69	0.73	0.76	0.79	0.83	0.86	0.89	0.92	0.96	1	0.04	0.08	0.13	0.17	0.22
20:00	0.23	0.28	0.33	0.38	0.43	0.47	0.52	0.56	0.6	0.64	0.68	0.72	0.75	0.78	0.81	0.84	0.88	0.92	0.96	1	0.04	0.09	0.13	0.18
21:00	0.18	0.23	0.28	0.33	0.38	0.43	0.48	0.52	0.56	0.6	0.64	0.67	0.7	0.73	0.77	0.8	0.84	0.88	0.92	0.96	1	0.04	0.09	0.14
22:00	0.14	0.19	0.24	0.28	0.33	0.38	0.43	0.48	0.52	0.56	0.6	0.63	0.66	0.7	0.73	0.76	0.8	0.83	0.87	0.91	0.96	1	0.05	0.09
23:00	0.1	0.14	0.19	0.24	0.29	0.34	0.43	0.47	0.51	0.56	0.59	0.62	0.65	0.68	0.71	0.75	0.79	0.83	0.87	0.91	0.95	1	0.05	0.09
24:00	0.05	0.1	0.14	0.19	0.24	0.29	0.34	0.38	0.42	0.46	0.5	0.54	0.57	0.6	0.64	0.67	0.7	0.74	0.78	0.82	0.86	0.91	0.95	1

#### Durum 4: Gizli-Duyulur IGKC İ ve sıcaklık kontrollü iklimlendirme sistemi

Bu durum adsorpsiyon özelliği olan yüzey alanına havalandırma cihazları kontakt yüzeyli cihazlar kullanıldığı ve buhar nemlendirmeli iklimlendirme sistemlerinde görülür. Psikrometrik diyagramda gösterimi şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Gizli-Duyulur IGKC İ ve sıcaklık kontrollü iklimlendirme sistemi



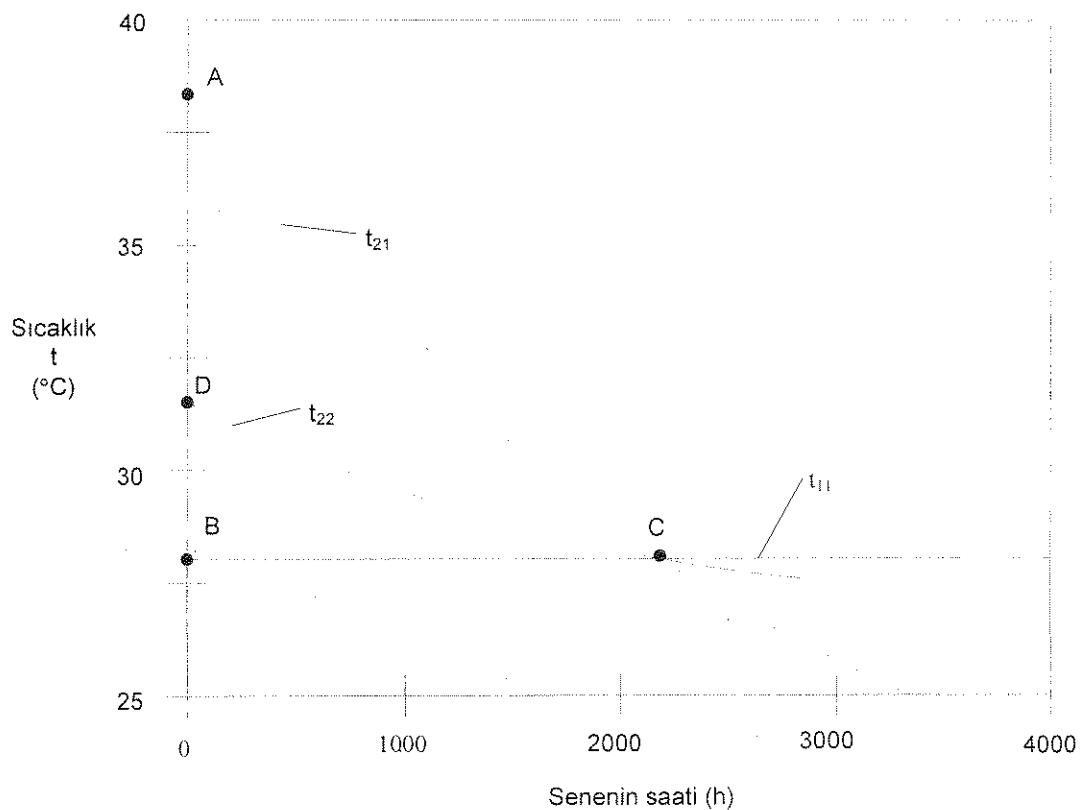
Şekil 12. Duyulur-Gizli IGKC ve sıcaklık kontrolü IGK hesabı

Şekil 12'de yine sıcaklık-sene saatı diyagramı verilmiştir.

Bu durumda da eşt. (11)-(16) ısı geri kazanımının hesaplanmasında kullanılabilir. Ancak  $t_{22}$  aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmalıdır.

$$t_{22} = t_{21} + \varepsilon_2 \cdot (t_{11} - t_{21}) + \phi_2 \cdot (x_{11} - x_{21}) \cdot \frac{r}{C_p} \quad (19)$$

Çeşitli IGKC ile ısitmada etkin enerji kazanım stratejileri Rakoczy [8] tarafından ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Enerji geri kazanım yaz kliması için de kiş kliması için açıklanmış gibi ve hatta daha da önemlidir. Yaz klimasında buharlaştırmalı soğutma imkanından da yararlanılarak IGKC ile yüksek miktarda ekonomi sağlanmaktadır[2, 4, 11, 16]. Yaz klimasında soğu geri kazanımı şekil 13'te verilen diyagram ile hesaplanır.



Şekil 13. Soğu geri kazanımı hesabı

Burada

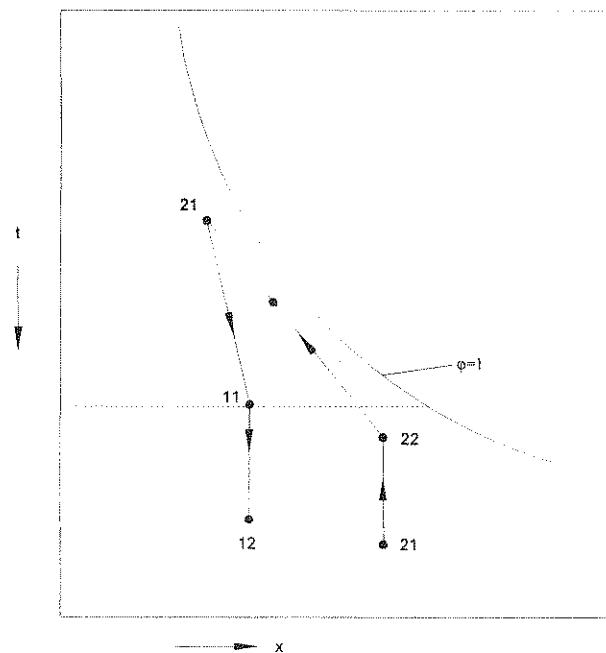
ABC alanı  $q$

ADC alanı  $q_R$

olup,  $q$  tasarruf edilebilecek toplam soğu miktarını,  $q_R$  tassarruf edileni göstermektedir. Bu şekilde  $t_{22}$  sıcaklığı

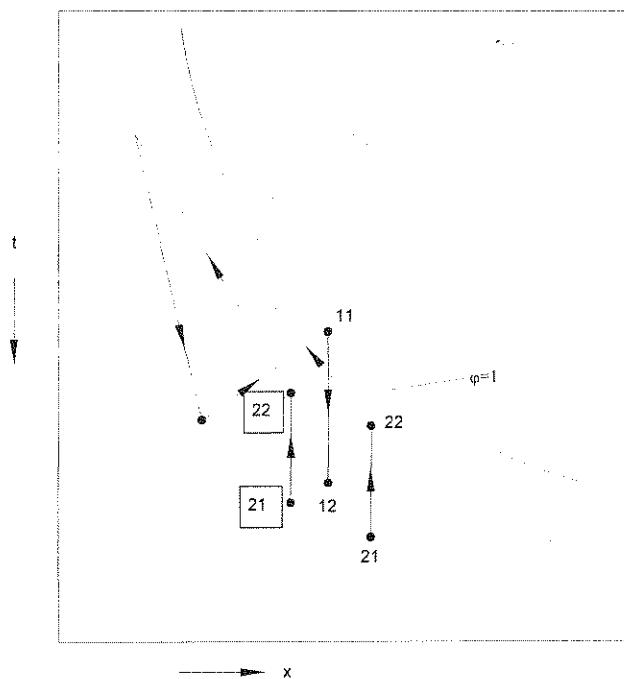
$$t_{22} = t_{21} - \varepsilon_1 \cdot (t_{21} - t_{11}) \quad (20)$$

eşitliğinden bulunur. Şekil 14'te dış ve atık hava nemlendirmeli durumda duyular IGKC da SGK gösterilmiştir.



**Şekil 14.** Duyulur IGKC da soğutma

$x_{21} > x_{11}$  durumlarında gizli-duyulur ısı transfer eden IGKC da kullanılabilir. Soğutma sistemlerinde atık hava buharlaştırmalı soğutma önemli bir yer tutmaktadır. Bu durum şekil 15'te gösterilmiştir.



**Şekil 15.** Atık hava buharlaştırmalı soğutmada IGKC kullanımı

Bu şekilden de görüldüğü gibi yaz kliması uygulamalarında şekil 13 hemen hemen her zaman geçerli olacaktır.

## EKONOMİK ANALİZ

IGKC'nın tesisat mühendisliği uygulamalarında kullanılmasıyla aşağıdaki kısımlarda tasarruf imkanı hasıl olacaktır.

- a) Isı enerjisi
- b) Soğu enerjisi
- c) Isı üreticisinin ve nemlendirme transfer edebilen sistemlerde nemlendirme sisteminin küçülmesi
- d) Soğu üreticinin soğutma ve gizli ısı transfer edebilen sistemlerde nem alma ihtiyacının azalması

Bunlara karşın aşağıda gösterilen ek masraflar da çıkacaktır.

- a) Isı eşanjörleri ile bunların montajı
- b) Gerekli olabilecek by-pass sistemi
- c) Eşanjörlerde meydana gelecek ek basınç kayipları ve ZDS lerde gerekli pompalar için ek enerji ihtiyacı.

IGKC havanın hazırlanması ve konfor şartı için gerekli bir aygit olmadığından, sadece iklimlendirme sisteminin enerji açısından daha verimli çalışmasını, çevreye daha az CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> gibi zararlı maddelerin atılması sağladığından, kullanılması için ekonomik analizin yapılması ve yapılacak ek yatırımların kendini rantabl olarak göstermesi gerekmektedir. Ancak çevre bilincinin ön plana çıktığı yerlerde ve İsviçre gibi Ülkelerde IGKC iklimlendirme sistemelerinde kullanılmak mecburiyetindedir.

Ekonomik analizde eğer emme ve basma kanalları aynı noktalarda buluşmuyorsa, bu duruma ihtiyacı olan sistemler ve ihtiyacı olmayan sistemler arasında da ayrıca ekonomik analiz yapma zorunluluğu vardır. IGKC'ları bazen çalışan sistemlerin kapasitelerinin artırılması için de kullanılmaktadır. IGKC'nın yaklaşık fiyatları çizelge 4'te verilmiştir. Sistemin ekonomikliği kullanılan IGKC'nın ekonomik ömrü ile bakım ve kullanım masraflarına da bağlıdır. Bunlarla ilgili bilgiler çizelge 5'te verilmiştir. Bu çizelgeye göre ekonomik عمر 10-20 sené kullanım ve bakım masrafları ise ilk yatırım fiyatının %3 ile %8'i arasında değişmektedir[17, 18].

**Çizelge 4.** IGKC'larının yaklaşık fiyatları.

Cihazın cinsi	Cihazın Büyüklüğü	Cihazın fiyatı [DM/(m <sup>3</sup> /h)]	Sistemin toplam fiyatı [DM/(m <sup>3</sup> /h)] (transport, montaj vb.)
1. Levhali ısı eşanjörler normal yapım alımınyum $\Delta P= 200 \text{ Pa}$ $\epsilon=0.6$	10 000 m <sup>3</sup> /h 20 000 m <sup>3</sup> /h $>30 000 \text{ m}^3/\text{h}$	1.50 1.20 1.00	2.0
2. Zorlanmış Dolaşımı Sistemler	$\epsilon=0.4$ $\epsilon=0.5$ $\epsilon=0.6$	eşanjör toplam 0.40 0.90 0.65 1.40 1.0 1.80	1.80 2.70 3.80
3. Isı Boruları $\epsilon=0.5 - 0.6$ $\Delta P= 200 - 250 \text{ Pa}$	10 000 m <sup>3</sup> /h 20 000 m <sup>3</sup> /h 40 000 m <sup>3</sup> /h 80 000 m <sup>3</sup> /h	1.80 1.70 1.50 1.10	2.0 1.80 1.70 1.30
4. Adsorpsiyonsuz Döner Rejeneratörler $\epsilon=0.75$ $\Delta P=150 \text{ Pa}$	10 000 m <sup>3</sup> /h 20 000 m <sup>3</sup> /h 40 000 m <sup>3</sup> /h 80 000 m <sup>3</sup> /h	2.10 1.70 1.30 1.00	2.40 2.00 1.70 1.60
5. Adsorpsiyonlu Döner Rejeneratörler	10 000 m <sup>3</sup> /h 20 000 m <sup>3</sup> /h 40 000 m <sup>3</sup> /h 80 000 m <sup>3</sup> /h	2.30 1.80 1.60 1.50	2.70 2.20 1.90 1.70

**Çizelge 5. IGKClarının ekonomik ömrü ile kullanım ve bakım giderleri.**

Cihazın Cinsi	Malzeme	Ekonomin ömrü [sene]	Kullanım ve Bakım Giderleri [%]
1. Levhalı Isı Eşanjörü	Aliminyum	10	3
	Korozyona dayanıklı malzeme	20	3
2. Zorlanmış Dolaşımlı Sistem	Bakır+ aliminyum	15	5
3. Adsorpsiyonsuz Döner Rejeneratörler	-	15	6
4. Adsorpsiyonlu Döner Rejeneratörler	-	12	7
5. Isı Pompası	-	10	7

Ekonomin analizin yapılmasında önce yıllık tasarrufun ve toplam ilk yatırım masraflarının tespit edilmesi gereklidir. Eğer ilk yatırım masrafları IGKC kullanılmadığı zaman pozitif çıkarsa, o zaman zaten başlangıçtan itibaren yatırım karlı demektir. Büyük sistemlerde [ $>100\ 000\ m^3/h$ ] böyle durumlar ortaya çıkabilemektedir.

Çizelge 6'da IGKC ile ilgili ilk yatırım masrafları ve yıllık işletme giderleri için bir örnek verilmiştir. Artı işaretliler işletme giderlerinde tasarrufları, ilk yatırımda da ek yatırımları göstermektedir. Eksi işaretliler ise işletme giderlerinde yapılması gerekli ek işletme giderlerini, ilk yatırım giderlerinde ise IGKC sayesinde genel işletme giderlerindeki azalmaları göstermektedir.

**Çizelge 6. İlk Yatırım ve İşletme Giderleri. Para birimi= Birim Para= BP**

A.	İlk Yatırım Giderleri $G_y$	[BP]
a) IGKC		+
b) Ek hava kanalları		+
c) Ek kontrol elemanları		+
d) Montaj		+
e) Yerleşim yerleri hazırlanması		+
f) Daha küçük ön ısıticiden dolayı tasarruf		-
g) Daha küçük kapasiteli kazan ve ekleri seçimi		-
h) Daha küçük soğutucu ve ekleri seçimi		-
i) Daha küçük soğutucu fancoilleri seçimi		-
j) Daha küçük nemlendirici seçimi		-
Toplam İlk Yatırım Gideri = $G_y$ [BP]		
B.	Yıllık İşletme Giderleri $G_i$	[BP/yıl]
a) Isı enerjisi tasarruzu		+
b) Soğu enerjisi tasarruzu		+
c) Hava tarafı ek basınç kaybı giderleri		-
d) Su pompaları (varsı) basınç kaybı giderleri		-
e) Ek kullanım ve bakım giderleri		-
Toplam Yıllık İşletme Giderleri = $G_i$		[BP/yıl]

Ekonomin analizde çok çeşitli yöntemler bulunmaktadır[9, 18, 19]. Burada en anlaşılır ve basit ancak güvenilir olanlara yer verilecektir.

Yukarıda belirtilen hesaplar yapıldıktan sonra ilk kaba sonuç olarak geri ödeme zamanı

$$t_{io} = \frac{G_y}{G_i} \quad [yıl] \quad (21)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Esasında ilk yatırım masraflarının yıllık faizi  $f$  ( $f=1, \%100$  faiz) olarak alındığında  $T_g$  geri ödeme zamanı biraz daha büyük olarak

$$t_g = \frac{\ln\left(\frac{G_i}{G_i - G_y \cdot f}\right)}{\ln(1+f)} \quad [\text{yıl}] \quad (22)$$

hesaplanabilir. Faiz sıfıra giderken (22) eşitliği (21) eşitliğine dönüştürmektedir.  $T_g$  geri ödeme zamanı ne kadar kısa olursa , yatırım da o denli ekonomik demektir.

Bir başka yöntem ise ilk yatırım masraflarının sistem ömrü ve faizler dikkate alınarak bir senelik masraflarını hesaplamak ve bunu da işletme giderleriyle karşılaştırmaktır. Bunun için bir senelik ilk yatırım maliyeti  $G_{yy}$  nin bulunması gereklidir. Aşağıda böyle bir bağıntı verilmiştir.

$$G_{yg} = b \cdot G_y \quad (23)$$

$$b = \frac{f \cdot (1+f)^n}{(1+f)^n - 1} \quad (24)$$

Burada  $n$  cihaz ömrünü göstermektedir. Eğer

$$\Delta G = G_i - G_{yy} > 0 \quad (25)$$

ise yatırım ekonomiktir.  $\Delta G$  ne kadar büyük ise, ekonomiklik de o kadar iyidir. Cihazın kullanılma süresi boyunca elde edilen kar ise

$$G_K = G_i \frac{(1+f)^i - 1}{f} - (1+f)^i \cdot G_y \quad (26)$$

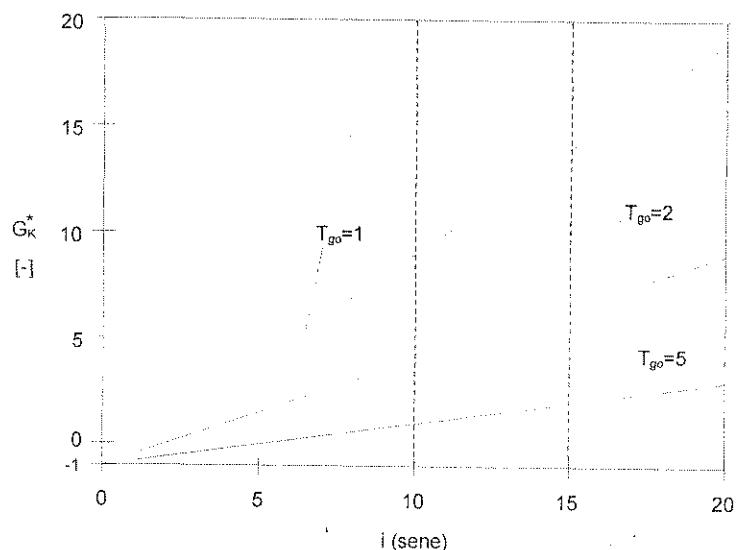
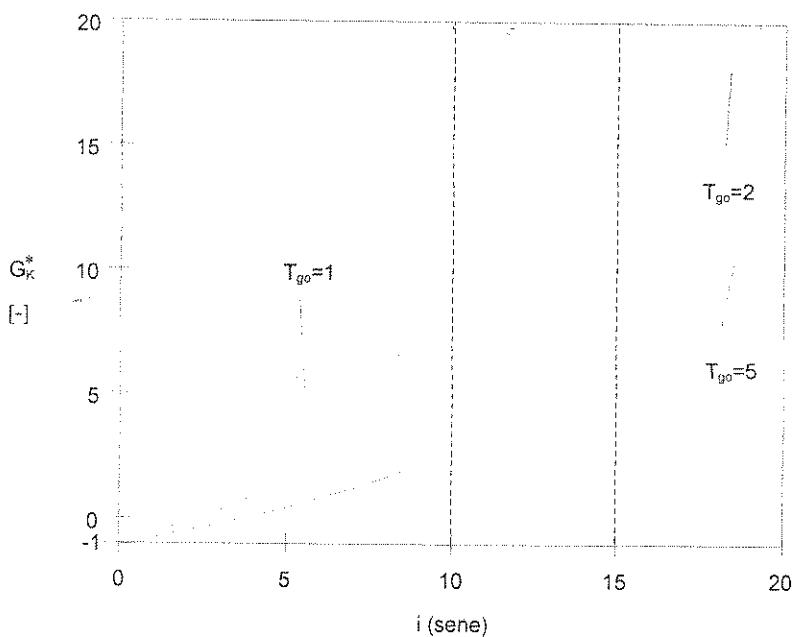
eşitliğinden hesaplanır.  $i$  burada  $i=1...n$  olarak cihazın kullanılma yıllarını göstermektedir.

$$G_K^* = \frac{G_K}{G_y} \quad (27)$$

tarifiyle eşt. (26)' dan

$$G_K^* = \frac{(1+f)^i - 1}{T_{go} \cdot f} - (1+f)^i \quad (28)$$

elde edilebilir. Şekil 16 ve 17'de  $G_K^*$  i senesinin fonksiyonu olarak verilmiştir. BP için yıllık faiz şekil 16'da  $f=0$  ve şekil 17'de ise  $f=0.1$  olarak alınmıştır. Parametre olarak  $T_g=1, 2$  ve  $5$  sene seçilmiştir. IGKC'ların ömürleri olarak da  $10, 15$  ve  $20$  seneler sekillerde işaretlenmiştir.

Şekil 16.  $G_K^*$  in  $f= 0$  için sene ile değişimi.Şekil 17.  $G_K^*$  in  $f= 0.1$  için sene ile değişimi.

## SONUÇ

İklimlendirme sistemelerinde ısı geri kazanım cihazlarının ülkemizde yaygın bir şekilde kullanılması enerji tasarrufu ve çevre kirliliği bilinci açısından kaçınılmaz görülmektedir. Bu cihazların amaca uygun olarak seçilmeleri için çeşitli tiplerin özelliklerinin iyi bilinmesi gereklili olup, işletmede sistemin sıcaklık mı yoksa entalpi kontrolüne göre mi çalıştırılacağı da çok önemlidir. Ülkemizde yaygın önyargı, IGKClarının ekonomik olmadığıdır. Bunu değiştirmek amacıyla iklimlendirme sistemlerinde kullanılan IGKClarının ekonomik analizlerinin yapılması ve bu hesaplara göre karar verilmesi uygun olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] GÜNGÖR, A., "Enerji geri kazanım sistemleri", 1.Uluslararası Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler kitabı, 1993, 413-450.
- [2] YILMAZ, T., "Yapılarda ısıtma soğutma uygulamalarında enerji geri kazanma sistemleri ve enerji ekonomisi", 2. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler kitabı, 1995, 607-622.
- [3] ÖNEN, İ., "Yapılarda ısıtma soğutma uygulamalarda ısı geri kazanım sistemleri ve enerji ekonomisi", 2. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler kitabı, 1995, 597-603.
- [4] DEHLİ, F., "Sorptionsgestützte Klimatisierung und Luftentfeuchtung", Technik am Bau, 96/6, 67-70.
- [5] VDI-Richtlinie 2071, "Wärmerückgewinnung in Raumlufttechnischen Anlagen", VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996.
- [6] MÜLLER, K.G., "Konjunktur für die Wärmerückgewinnung", HLH 46, 1995, 509-518.
- [7] ASHRE Handbook, HVAC Systems and Equipment, Air-to-Air Energy Recovery, 1992, 44.01-44.16.
- [8] ASHRE Handbook, Fundamentals, Energy Estimating Methods, 1993, 28.01-28.38.
- [9] JÜTTEMANN, H., "Wärmerückgewinnung in raumlufttechnischen Anlagen", Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1984.
- [10] RAKOCZY, T., "Möglichkeiten der Energieeinsprung bei RTL-Anlagen", HLH 4513, 1994, 107-119.
- [11] RAKOCZY, T., "Kühlung durch Fortluftbefeuchtung bei RTL-Anlagen", Ki Luft-und Kältetechnik, 1994, 545-549.
- [12] SCHNEIDER, M., "Befeuchtungs-Kühlung", Technik am Bau, 6, 1996, 71-75.
- [13] SCHARTMANN, H., "Wärmerückgewinnung in RTL-Anlagen mit Abluftbefeuchtung", Ki Luft-und Kältetechnik, 1996, 115-118.
- [14] MATHEWS, E.H. and et all. "Integrated simulation of buildings and evaporative cooling systems", Building and Environment, 29/2, 1994, 197-206.
- [15] ASHRAE Handbook, HVAC Applications, Evaporative Air Cooling, 1991, 46.01-46.12.
- [16] ASHRE Handbook, HVAC Systems and Equipment, Evaporative Air Cooling, 1992, 19.01-19.10.
- [17] VDI-Richtlinie 2067, Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, Betriebstechnische und Wirtschaftliche Grundlagen, Blatt1, VDI Verlag Düsseldorf, 1983.
- [18] ASHRE Handbook, HVAC Applications, Owning and Operating Costs, 1991, 33.01-33.08.
- [19] VDI-Richtlinie 2067, Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, Betriebstechnische und Wirtschaftliche Grundlagen, Wirtschaftlichkeitsberechnungsverfahren, Blatt1 Beiblatt, VDI Verlag Düsseldorf, 1991.

## ÖZGEÇMIŞ

1945'de Tarsus'da doğdu. 1968'de Berlin Teknik Üniversitesi'nin Makina Fakültesini bitirdi. 1972 yılında aynı üniversitede doktorasını tamamladı. 1973 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde görevi başladı. 1977 yılında Makina Mühendisliği Bölümü'nde Isı ve Kütle Transferi Bilim Dalında doçent oldu. 1983'te Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'na profesör olarak atandı. Almanya dışında İngiltere'de Cambridge ve Liverpool Üniversitelerinde, ABD'de Massachusetts Institute of Technology'de misafir öğretim üyesi olarak bulundu. 1982-83 yıllarında K.T.U. Makina Mühendisliği Bölüm Başkanlığı görevini yaptı. 1986-1989 yılları arasında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanlık görevini yürüttü. Halen Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölüm Başkanlığı ve Çukurova Üniversitesi Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü görevlerini sürdürmektedir.