

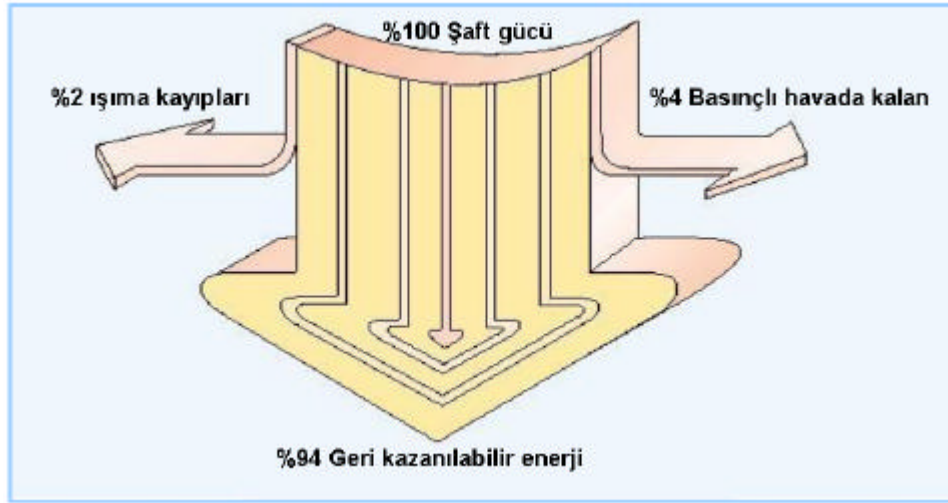
# KOMPRESÖRLERDE ENERJİ GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ

Çetin KARA

## ÖZET

Yükselen enerji maliyetleri ve artan çevre bilinci sayesinde çoğu kompresör kullanıcısı, kompresörlerde potansiyel olarak bulunan ve kullanılmadan dışarıya atılan isinin farkına varmaya başladı. Kompresör üreticileri, sıkıştırma işlemi sırasında ortaya çıkan isiyi fan veya su soğutmalı esanjörler kullanarak uzaklaştırmaktadırlar.

Basınçlı hava elde etmek için kompresörlerde harcanan elektrik enerjisinin % 90 veya fazlası isi enerjisi olarak geri kazanılabilir. Üretim veya proses aşamasında, ısıtma amaçlı elektrik, gaz veya sıvı yakıt kullanılıyorsa, bu yöntemlerden birinin kısmen ya da tamamen yerini kompresörden elde edilecek isi enerjisine bırakma olasılığı vardır. Geri kazanılan isi enerjisi kazancı belirlerken, elde edilecek sıcaklık seviyeleri, olası kullanım alanlarını belirler.

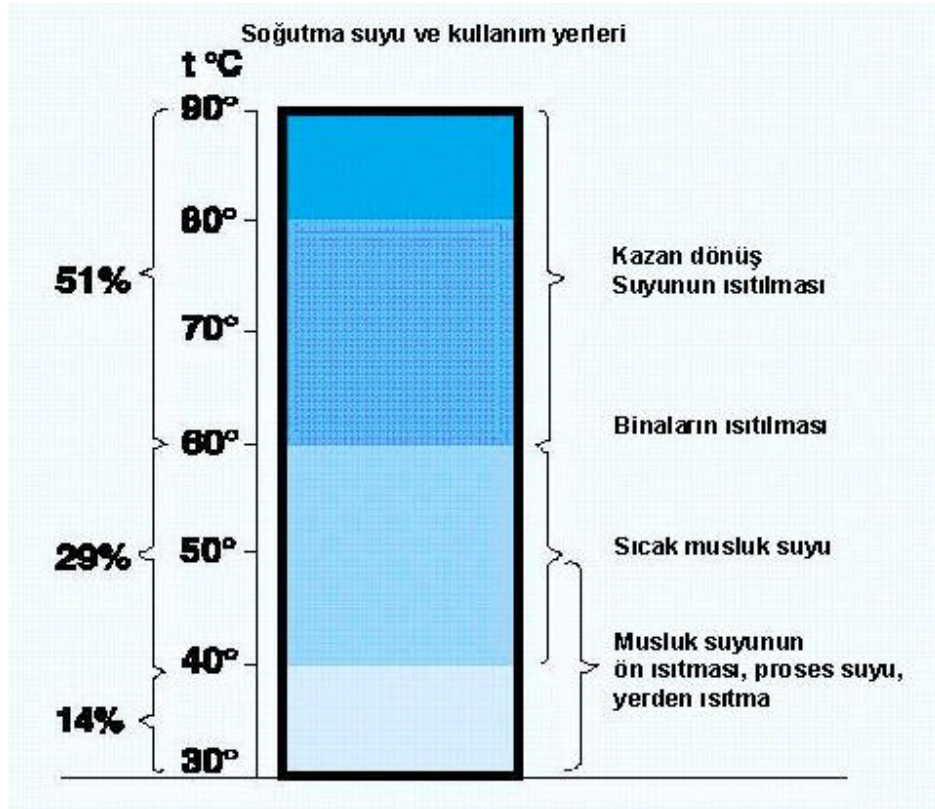


Sekil 1. Kompresörlerde tipik enerji akışı

## GİRİŞ

Hava sıkıştırıldığında ısı oluşur. Isı enerjisi sıkıştırılmış hacim içerisinde kalmakta ve basınçlı hava boru hattına gönderilmeden önce bu isinin fazlası uzaklaştırılmaktadır. Pek çok basınçlı hava uygulamasında kayda değer, fakat kullanılmayan enerji tasarrufu olanagı mevcuttur.

Örneğin; Su soğutmalı yagsiz bir kompresöre harcanan enerjinin %94 'ünün 90 °C sıcak su elde edilebilecek şekilde geri kazanılabileceği düşünüldüğünde, bu yolla yapılacak bir tasarruf, maliyetleri düşürücü önemli bir unsur olacaktır.



Sekil 2. Su sıcaklıkları ve tipik kullanım alanları

### 1. ISI GERİ KAZANIMININ FAYDALARI

Atık isiyi geri kazanmak için kullanılacak ilave ekipmanın yatırım maliyeti, yapılacak tasarrufla kendini kısa sürede geri ödemektedir. Bazı durumlarda isı geri kazanım sistemleri, ısıtma veya sıcak su ihtiyacının tamamını karşılamakta ve yatırım maliyetini düşürmektedir. Isının tamamının kullanılabilirdiği durumlarda sistemin kendini 2 yıldan az bir sürede ödeyebildiği sıkça görülmektedir.

Örnek: Hava soğutmalı, 55 kW gücünde ve 159 lt/sn kapasitedeki bir kompresör, tam yükte 53,5 kW harcamaktadır. Kompresörün haftada 48 saat ve yılda 52 hafta çalıştığı gözönüne alınırsa, geri kazanılabilecek isinin toplam miktarı 133,536 kWh / yıl olacaktır. Bu isinin, kWh maliyeti 0,07 € olan elektrikle sağlandığını varsayarsak, ortaya çıkacak yaklaşık yıllık tasarruf miktarı 9,347.- € olacaktır.

Finansal tasarrufa ek olarak, sistemin çevreye de faydası bulunmaktadır. Enerji tasarrufu yapmak atmosfere bırakılan CO<sub>2</sub> gazlarının miktarında önemli düşüşler sağlamaktadır. Örneğin: Doğal gazın yanması sırasında 0,21 kg CO<sub>2</sub>/kWh değerinde bir emisyon oluşmaktadır. Yukarıdaki tasarruf örneğinden yola çıkıldığında, 133,536 kWh/yıl isı enerjisinin ortam ısıtılmasında kullanıldığı düşünülürse, CO<sub>2</sub> emisyonundaki yıllık düşüş;

$$133,536 \times 0,21 = 28 \text{ ton CO}_2 \text{ olacaktır.}$$

Kapalı devre soğutma kullanılarak kurulan sistemlerde, su kalitesinin iyi olması ve sıcaklık seviyesinin dengeli olmasından dolayı, kompresörün servis ömrünü uzatma yönünde ilave avantajlar sağlanmaktadır.



## 2. KOMPRESÖR TIPLERİ (ISI KAYNAKLARI)

Isi kaynaklarının tanımlanması:

- Yaklaşık ne kadar isi elde edilebilir?
- Isi ne zaman elde edilebilir?
- Isi nereden elde edilebilir?

Endüstride kullanılan kompresörlerin bir çok çeşidi vardır. Bunlardan bazıları su, bazıları hava ile sogutulur. Pratikte 15 kW'in altındaki güçlerde isi geri kazanım yatırımı yapmak ekonomik değildir.

Kompresörlerin öncelikli amacı havayı verimli olarak sıkıstırmaktır. Eksik veya zayıf dizayn edilmiş bir geri kazanım sisteminin kullanılması, kompresörün temel sogutma işlevini etkileyecek, verimliliğini ve güvenilirliğini azaltacaktır. Isi geri kazanımının yan işlev olduğu ve kompresörün öncelikli fonksiyonu olmadığı unutulmamalıdır.

Isi geri kazanım sistemi, kompresörün yükte çalışacağı temeline göre dizayn edilmişse, hava kapasitesinin kullanımında azalma olması durumunda hedeflenen tasarruf seviyelerine ulaşamayacaktır. Bu gibi durumlarda kompresör üreticisine danışılarak kısmi yüklerle elde edilebilecek gerçek isi miktarları saptanmalıdır. Basit bir varsayım, elde edilebilecek isi miktarının hava kullanımıyla doğrudan orantili olduğunu söyleyebiliriz.

Birden fazla kompresör kullanıldığı durumlarda, isi geri kazanım sistemi dizayn etmeden önce kompresörlerin kullanımında nasıl bir sıralama ve değişme olacağı hesaba katılmalıdır. Örneğin; 3 kompresör kullanılıyor ve ana makina yer değiştiriyorsa, 3 kompresörün tümünden isi geri kazanımı yapılmadıkça, geri kazanılan isi miktarı düşecektir.

**Tablo 1.** Potansiyel kazanım örnekleri

Geri Kazanılabilir Güç			
FAD m <sup>3</sup> /dak	Isi akışı kW	2000 saat/yıl içindeki tasarruf kW/yıl	Petrol yakıtı m <sup>3</sup> /yıl
6,4	34	58000	10,0
7,4	40	80000	11,8
11,4	51	102000	15,0
14,0	61	122000	17,9
18,7	92	184000	27,1
21,6	109	218000	32,1
23,2	118	236000	34,7
27,9	137	274000	40,3
34,8	176	352000	51,8
43,1	215	430000	63,2
46,9	235	470000	68,1
46,5	229	458000	67,8
51,3	253	506000	74,7
56,9	284	568000	83,5
69,7	368	732000	106
75,4	359	718000	106
83,2	392	784000	115
103,6	490	980000	144
124	502	1200000	177

## 2.1 Kompresörlerden Elde Edilebilecek Isinin Saptanması

Kompresörün gerçek güç tüketimi bilindiği takdirde, potansiyel isi kazanımı bu değer %90 'i oranındadır (montaj kayıpları, yetersiz borulama ve kaçaklar hariç). Mevcut kompresör uygulamalarında, yükte ve bosta geçen süreler kaydedilmeli ve ortalama yükte geçen süre hesaplanmalıdır.

**Örnek:** 450 lt/sn kapasiteli kompresörden elde edilecek isinin özgül isi metodu kullanılarak hesaplanması;

- 450 lt/sn kapasiteli kompresörün nominal gücü 160 kW 'dir.
- 10 °C sıcaklıkta ölçülen soğutma havası miktarı = 4,160 lt/sn = 5,14 kg/sn (havanın yoğunluğu 0,81 m<sup>3</sup>/kg olarak alınmıştır)
- 10 °C emis sıcaklığı = 20 kJ/kg ( bkz. Buhar tablosu)
- 38 °C çıkış sıcaklığı = 48 kJ/kg ( bkz. Buhar tablosu)

Kompresörden elde edilebilecek isi = (48 – 20) x 5,14 = **144 Kw**

### 2.1.1 Su Soğutmalı Kompresörde Elde Edilecek Su Debisi Hesabı

160 kW gücünde yağ enjekteli, vidalı, su soğutmalı kompresörden 107 kW enerji geri kazanılıyor ve 20 °C soğutma suyu 90 °C 'ye çıkarılmak isteniyor.

Geri kazanılan enerji = 4.2 x su debisi (l/sn) x suyun isi artışı (°C)

Su debisi = 107kW/ 4.2 x (90 – 20) = **0,36 lt/sn** olarak hesaplanmaktadır.

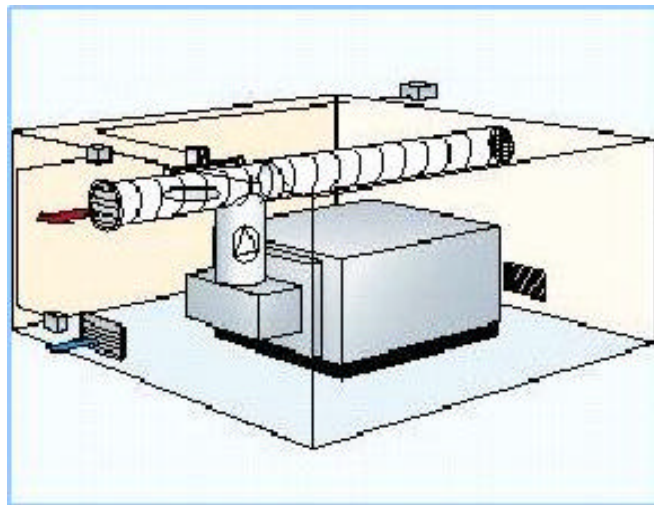
## 2.2 Farklı Kompresör Tiplerine Göre Uygulama Sekilleri

### 2.2.1 Yağ Enjekteli Vidalı Kompresörler:

- Enjekte edilen yağ, sıkıştırılan havayı soğutmakta ve kompresör elementlerinin sızdırmazlığında kullanılır.
- Sıkıştırma sırasında açığa çıkan isinin %75'den fazlası yağ soğutucusu tarafından alınır, kalan miktar son soğutucu ve isima kayıplarıdır.

#### 2.2.1.1 Hava Soğutmalı

Genellikle kapalı üretilirler, elde edilen sıcak hava kanallar yardımıyla ortam ısıtmasında kullanılır.



**Sekil 3.** Hava soğutmalı kompresörle ortam ısıtması

- Bazı ünitelerde yağ soğutucusuna yağ/su isi esanjörü eklenerek sıcak su elde edilebilir.

### 2.2.1.2 Su Sogutmali

- Yag sogutucusu ve son sogutucu harici bir su devresi tarafından sogutulur. Bir isi esanjörü kullanarak sicak su, boyler besleme suyu veya proses ihtiyaci elde edilebilir. (Sekil 4)

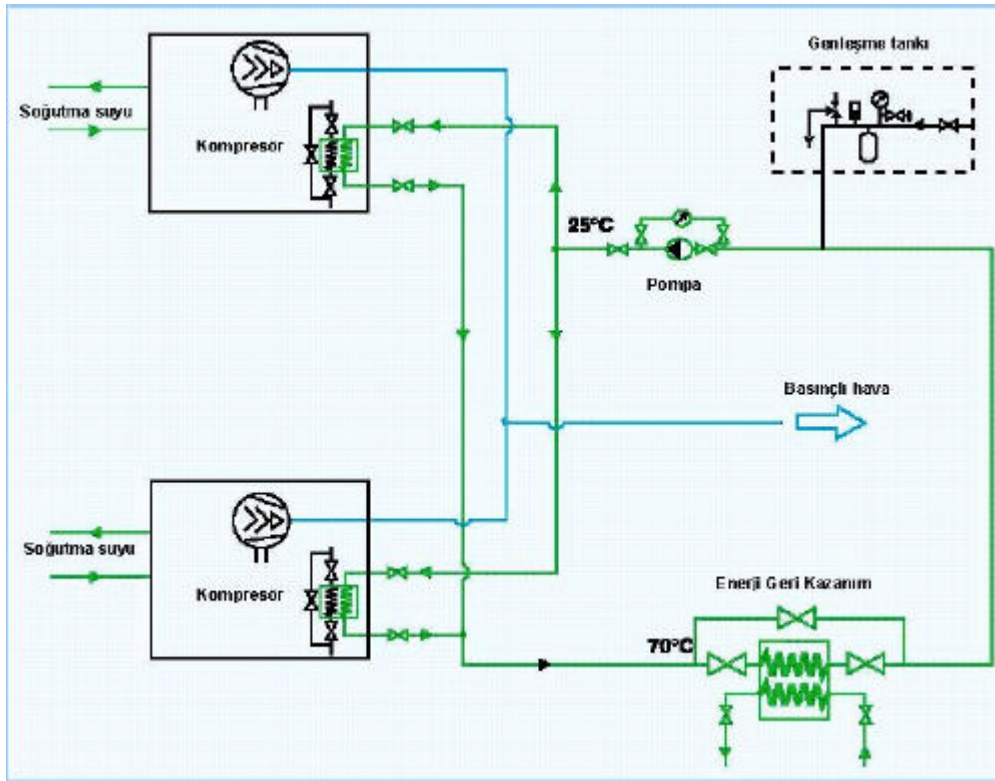
### 2.2.2 Yagsiz Vidali Kompresörler:

#### 2.2.2.1 Hava Sogutmali

- Genellikle akustik kapakli olarak paket üniterlerdir. Ara, son ve yag sogutucusundan elde edilen isi kompresörün sicak hava çikisinden kanallar yardimiyla dagitilir.

#### 2.2.2.2 Su Sogutmali

- Sogutma devresinde bir isi esanjörü kullanarak sicak su, boyler besleme suyu veya proses ihtiyaci elde edilebilir. (Sekil 5)
- Bazi özel modellerde ara ve son sogutucu üzerinde çift geçis kullanarak 95 °C sicak su elde edilebilir.
- Bazi modeller atik isiyi kullanarak rejenerasyon yapan entegre kimyasal kurutucularla donatilmislardir.



Sekil 4. Su sogutmali yag enjekteli vidali kompresörde geri kazanim uygulaması

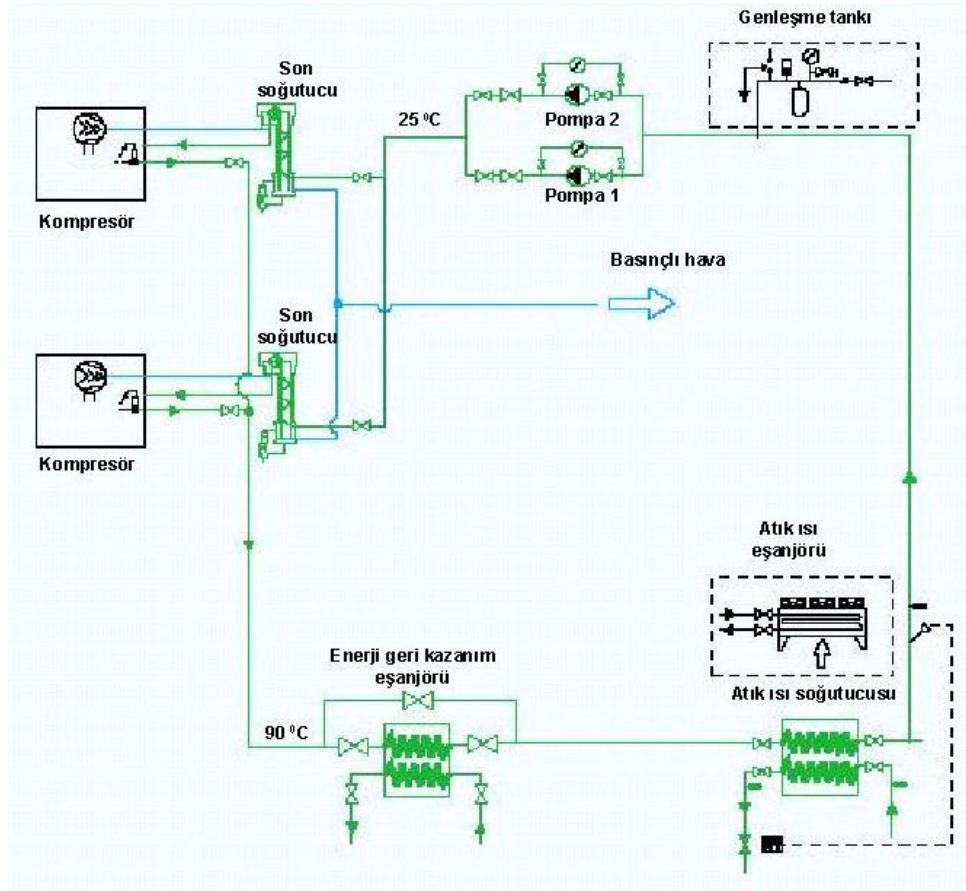
### 2.2.3 Santrifüj Kompresörler:

- Bu kompresörlerin neredeyse tamamı su sogutmali iki, üç veya dört kademeli sikistirma yapmaktadirlar. Bir isi esanjörü yardimiyla sicak su, boyler besleme suyu veya proses ihtiyaci karsilanabilir.
- Dizayna esas sogutma suyu sicakliginda olabilecek degisiklikler ünitenin verimliliğini ve kontrol araligini etkileyebilir. Isi geri kazanim uygulaması yapmadan önce üreticiye danisilmalidir.

### 3. EKONOMİ HESABI

#### 3.1 İlk Yatırım Maliyeti

- Kanal ve boru isleri
- İzolasyon
- Kontrol sistemi
- Damperler ve valfler
- Yardımcı fan ve pompalar
- Yağ düzeltme emniyet valfi değişikliği
- Su stok tankları gibi ekipmanların tümü hesaba katılmalıdır.



**Sekil 5.** Su soğutmalı yagsız vidalı kompresörde geri kazanım uygulaması

#### 3.2 İşletme Maliyeti

Tasarruf hesaplaması yapılırken tasarruf edilen yakıtın toplam maliyeti alınmalıdır. Bu kazanılan isinin gerçek birim maliyetidir. Eğer kazanılan ısı, maliyeti 0,011 € ve verimliliği 0,75 olan gaz yakıtlı bir kazan ile yer değiştirecekse, enerji tasarrufu =  $0,011 / 0,75 = 0,015$  € olacaktır.

Küçük görünse de fan ve pompa gibi yardımcı ekipmanların ilave maliyetlerini hesaba katmak gerekir. Örneğin:

$$\text{Fan işletme maliyeti} = \frac{(\text{fan kW}) \times (\text{çalışma saati/yıl}) \times (\text{elektrik maliyeti €/kWh})}{\text{Motor verimliliği}}$$

Motor verimliliği %85, çalışma saati 4,500 saat/yıl, gücü 5 kW olan bir fanın yıllık işletme maliyeti yaklaşık 1,852 € olacaktır.



### 3.3 Geri Ödeme Süresi Hesabi

**Örnek:** İşletmede üç adet, hava soğutmalı, 360 lt/sn, 132 kW gücünde kompresör kullanılmaktadır.

- Toplam ve yükte çalışma saatlerine bakılarak, kompresörlerden birincisi sürekli yükte, ikincisi ortalama %30 yükte ve üçüncüsünün yedek olduğu görülmektedir.
- Yakında bulunan geniş bir montaj alanında gaz yakıtlı bir kazan yılın yarısında ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Kazan verimliliği % 75, gaz fiyatı 0,011 €/kwh 'dir. Montaj alanı günde 10 saat, hafta içi 5 gün ve Cumartesi günleri 5 saat ısıtılmaktadır. Elektrik kWh bedeli 0,07 € olarak alınabilir.
- Kompresör üreticisinin gerekli kanal ısı, 5 kw üfleme fanı, kelepçe ve sıcak hava by-pass klapesi için teklifi 4,970 € 'dur.

A) Kompresörden tam yükte elde edilen ısı	..... kW	132 kW x %90 = 120 kW
B) Kompresör yük faktörü	..... %	%100 + %30 = %130
C) Toplam atık ısı ( A x B/100 )	..... kW	120 kW x %130 = 156 kW
D) Elde edilecek ısının kullanma oranı	..... %	%95 ( %5 kayıp-kaçak)
E) Faydalanılacak ortalama ısı ( C x D/100)	..... kW	156 kW x %95 = 148 kW
F) Isının yılda kaç saat kullanılacağı	..... h/yıl	(50 + 5) x 24 hafta/yıl = 1,320 saat/yıl
G) Yıllık enerji tasarrufu ( E x F )	..... kWh/yıl	148 kW x 1,320 saat/yıl = 195,360 kWh/yıl
H) Tasarruf edilen toplam yakıt maliyeti	..... €/kWh	0,011€/kWh / %75 = 0,015 €/kWh
I) Yıllık yakıt tasarrufu	..... €/yıl	195,360 kWh/yıl x 0,015 €/kWh = 2930 €/yıl
J) Yardımcı ekipmanların işletme maliyeti	..... €/yıl	5 kW x 1,320saat/yıl x 0,07€/kWh = 462 €/yıl
K) Toplam tasarruf ( I – J )	..... €/yıl	2930 €/yıl – 462 €/yıl = 2,468 €/yıl
L) Yatırım maliyeti	..... €	4,970 €
M) Geri ödeme süresi ( L/K )	..... yıl	4,970 € / 2,468 € = <b>2 yıl</b>

### SONUÇ

Basınçlı hava üretiminde kullanılan hava kompresörlerinin hemen hemen hepsinden değişik yöntemlerle ısı geri kazanımı elde etmek mümkündür. İyi planlanmış bir enerji geri kazanım sistemi, işletmenin maliyetlerini düşürerek daha rekabetçi olmasını sağlayacaktır. Kaynakların verimli kullanılması yaşadığımız çevreye vermemiz gereken saygının bir gereğidir.

### KAYNAKLAR

- [1] "Compressed Air Manual", Atlas Copco, 1998
- [2] "Heat recovery from air compressors", DETR Good Practice Guide, 1998

### ÖZGEÇMİŞ

#### Çetin KARA

1967 yılında Erzurum'da doğdu. İstanbul Teknik Üniversitesi Sakarya Mühendislik Fakültesi Meslek Yüksek Okulundan "Makina Teknikeri" olarak 1988 yılında mezun oldu. Özel sektörde çalışma hayatına başladı, 1997 yılının Mayıs ayından beri Atlas Copco firmasında çalışmakta ve 2,5 yıldır Yagsız Kompresörler bölümünde Ürün Uzmanı olarak görevine devam etmektedir.