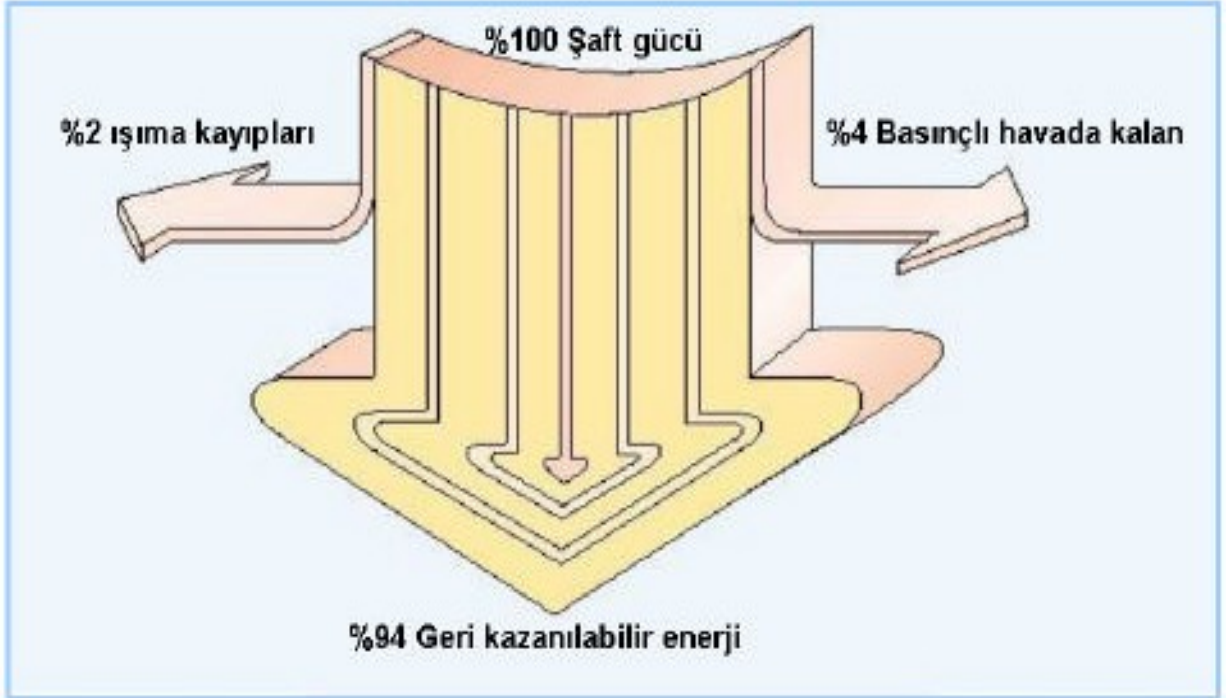


## KOMPRESÖRLERDE ENERJİ GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ

### ÖZET

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

Basınçlı hava elde etmek için kompresörlerde harcanan elektrik enerjisinin % 90 veya fazlası ısı 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 ısı enerjisine bırakma olasılığı vardır. Geri kazanılan ısı enerjisi kazancı belirlerken, elde edilecek sıcaklık seviyeleri, olası kullanım alanlarını belirler.

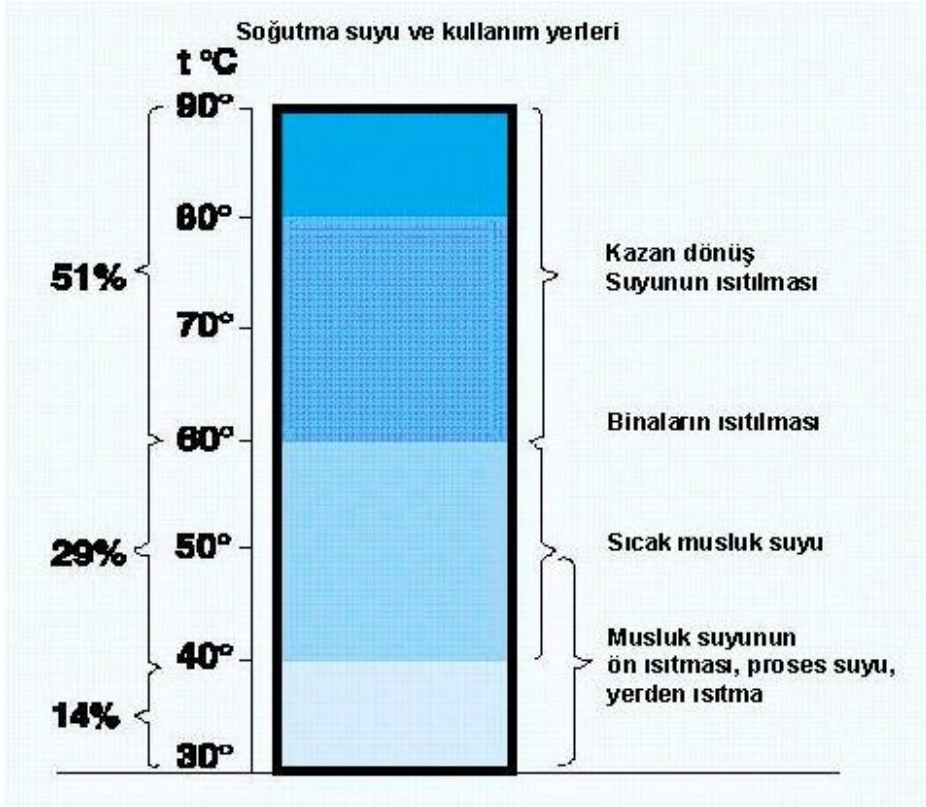


Şekil 1. Kompresörlerde tipik enerji akışı

### GİRİŞ

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

Örneğin; Su soğutmalı yağsız 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.



**Şekil 2.** Su sıcaklıkları ve tipik kullanım alanları

### 1. ISI GERİ KAZANIMININ FAYDALARI

Atık ısıyı geri kazanmak için kullanılacak ilave ekipmanın yatırım maliyeti, yapılacak tasarrufla kendini kısa sürede geri ödemektedir. Bazı durumlarda ısı 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, 55kw gücünde ve 159lt/sn kapasitedeki bir kompresör, tam yükte 53,5kw harcamaktadır. Kompresörün haftada 48 saat ve yılda 52 hafta çalıştığı göz önüne alınırsa, geri kazanılabilecek ısının toplam miktarı 133,536kwh/yıl olacaktır. Bu ısının, 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 0,21kg CO<sub>2</sub>/kwh değerinde bir emisyon oluşmaktadır. Yukarıdaki tasarruf örneğinden yola çıkıldığında, 133,536kwh/yıl ısı 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 TİPLERİ (ISI KAYNAKLARI)

Isı kaynaklarının tanımlanması:

- Yaklaşık ne kadar ısı elde edilebilir?
- Isı ne zaman elde edilebilir?
- Isı nereden elde edilebilir?

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

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

Isı 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 ısı miktarları saptanmalıdır. Basit bir varsayımla, elde edilebilecek ısı miktarının hava kullanımıyla doğrudan orantılı olduğunu söyleyebiliriz.

Birden fazla kompresör kullanıldığı durumlarda, ısı geri kazanım sistemi dizayn etmeden önce kompresörlerin kullanımında nasıl bir sıralama ve değişme olacağı hesaba katılmalıdır.

Örneğin: 3 kompresör kullanılıyor ve ana makine yer değiştiriyorsa, 3 kompresörün tümünden ısı geri kazanımı yapılmadıkça, geri kazanılan ısı miktarı düşecektir.

**Tablo 1.** Potansiyel kazanım örnekleri

Geri Kazanılabilir Güç			
FAD m <sup>3</sup> /dak	Isı 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 Isının Saptanması

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

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

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

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

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

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

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

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

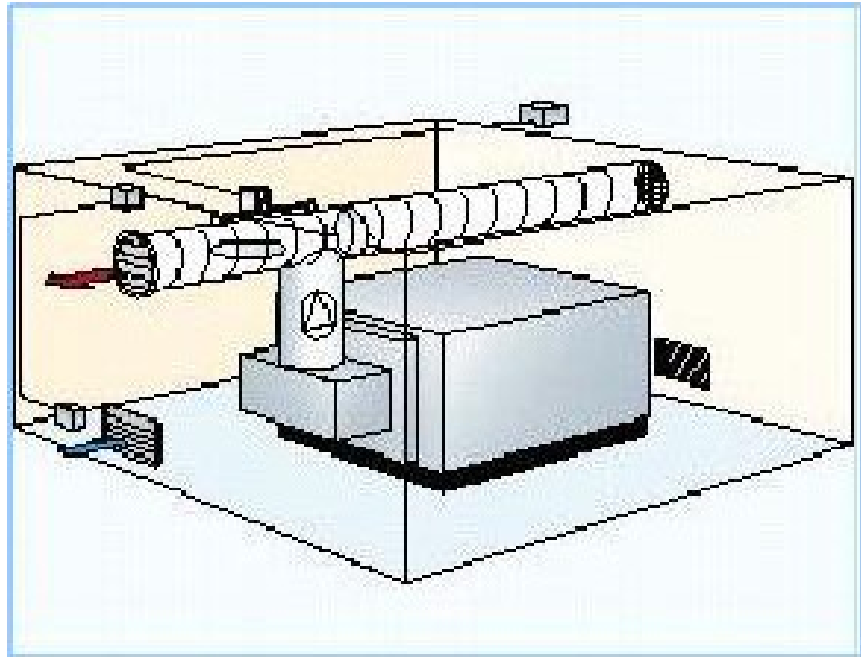
## 2.2 Farklı Kompresör Tiplerine Göre Uygulama Şekilleri

### 2.2.1 Yağ Enjekteli Vidalı Kompresörler:

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

#### 2.2.1.1 Hava Soğutmalı

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



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

- Bazı ünitelerde yağ soğutucusuna yağ/su ısı eşanjörü eklenerek sıcak su elde edilebilir.

### 2.2.1.2 Su Soğutmalı

- Yağ soğutucusu ve son soğutucu harici bir su devresi tarafından soğutulur. Bir ısı eşanjörü kullanılarak sıcak su, boiler besleme suyu veya proses ihtiyacı elde edilebilir. (Şekil 4)

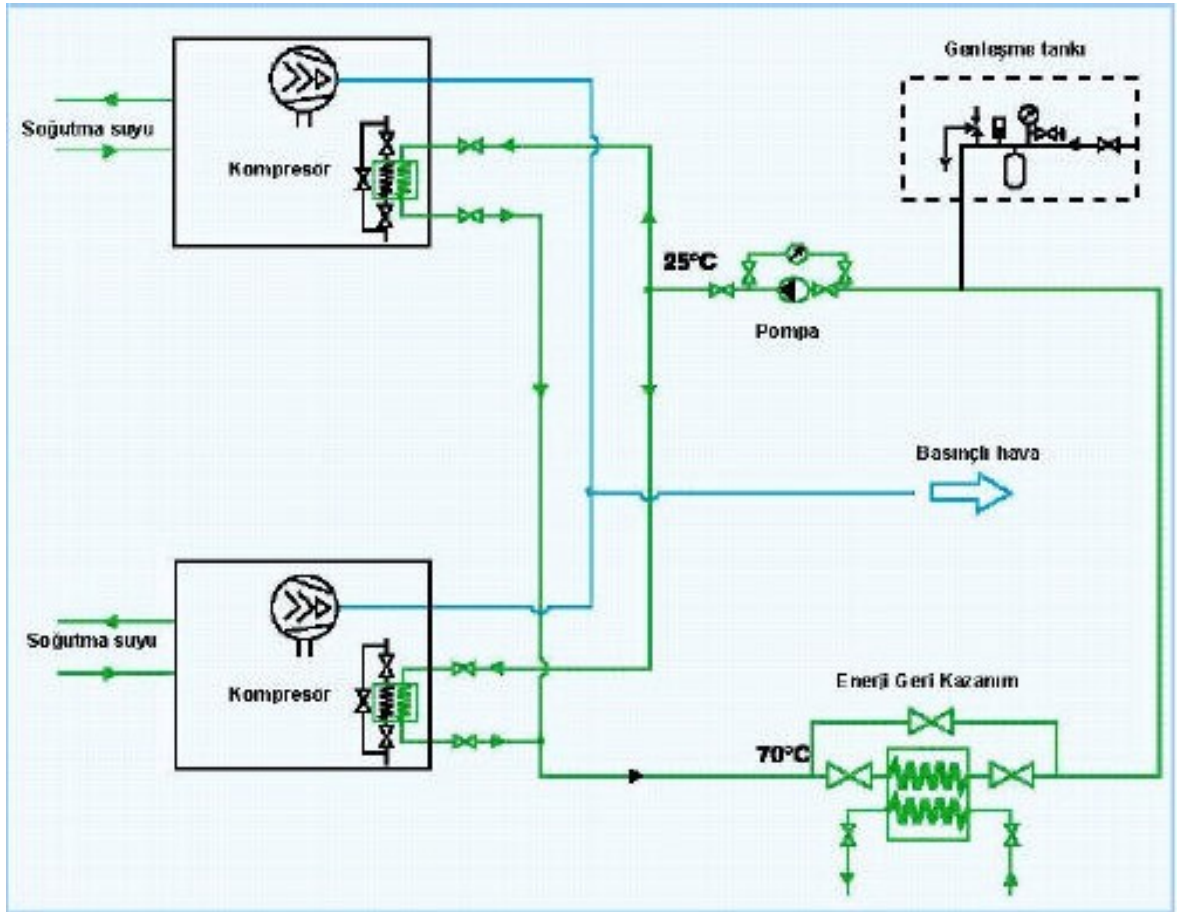
### 2.2.2 Yağsız Vidalı Kompresörler:

#### 2.2.2.1 Hava Soğutmalı

- Genellikle akustik kapaklı olarak paket ünitelerdir. Ara, son ve yağ soğutucusundan elde edilen ısı kompresörün sıcak hava çıkışından kanallar yardımıyla dağıtılır.

#### 2.2.2.2 Su Soğutmalı

- Soğutma devresinde bir ısı eşanjörü kullanılarak sıcak su, boiler besleme suyu veya proses ihtiyacı elde edilebilir. (Şekil 5)
- Bazı özel modellerde ara ve son soğutucu üzerinde çift geçiş kullanılarak 95°C sıcak su elde edilebilir.
- Bazı modeller atık ısıyı kullanarak rejenerasyon yapan entegre kimyasal kurutucularla donatılmışlardır.



Şekil 4. Su soğutmalı yağ enjekteli vidalı kompresörde geri kazanım uygulaması

### 2.2.3 Santrifüj Kompresörler:

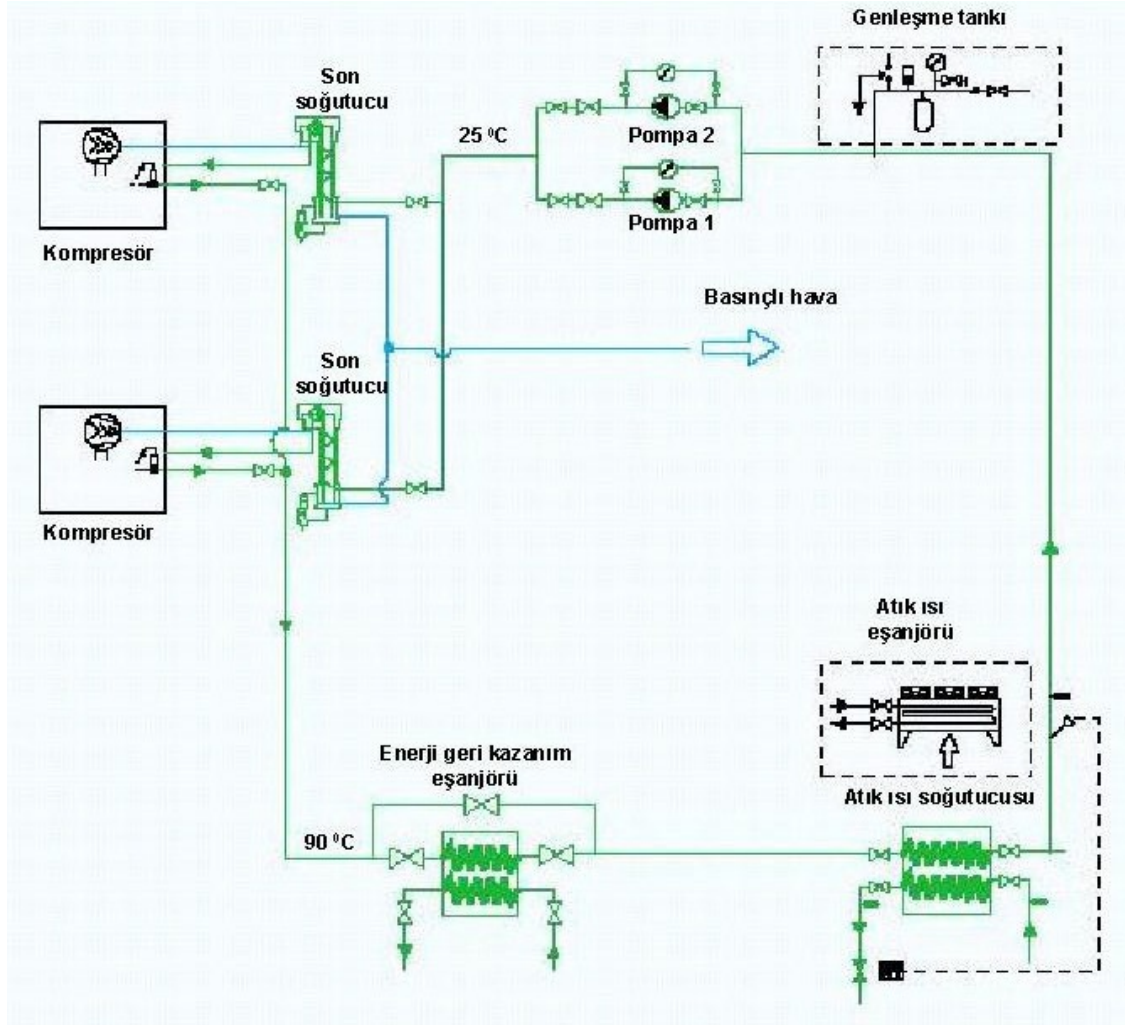
- Bu kompresörlerin neredeyse tamamı su soğutmalı iki, üç veya dört kademeli sıkıştırma yapmaktadırlar. Bir ısı eşanjörü yardımıyla sıcak su, boiler besleme suyu veya proses ihtiyacı karşılanabilir.
- Dizayna esas soğutma suyu sıcaklığında olabilecek değişiklikler ünitenin verimliliğini ve kontrol aralığını etkileyebilir. Isı geri kazanım uygulaması yapmadan önce üreticiye danışılmalıdır.



### 3. EKONOMİ HESABI

#### 3.1 İlk Yatırım Maliyeti

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



Şekil 5. Su soğutmalı yağsız vidalı kompresörde geri kazanım uygulaması

#### 3.2 İşletme Maliyeti

Tasarruf hesaplaması yapılırken tasarruf edilen yakıtın toplam maliyeti alınmalıdır. Bu kazanılan ısının 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 4,500saat/yıl, gücü 5kw olan bir fanın yıllık işletme maliyeti yaklaşık 1,852€ olacaktır.

### 3.3 Geri Ödeme Süresi Hesabı

**Örnek:** İşletmede üç adet, hava soğutmalı, 360lt/sn, 132kw 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. Elektriğin kwh bedeli 0,07€ olarak alınabilir.
- Kompresör üreticisinin gerekli kanal ısı, 5kw üfleme fanı, kelepçe ve sıcak hava by-pass klapesi için teklifi 4,970€'dur.

A) Kompresörden tam yükte elde edilen ısı ( kw)	132kw x %90 = 120kw
B) Kompresör yük faktörü (%)	%100 + %30 = %130
C) Toplam atık ısı (AxB/100)	120kw x %130 = 156kw
D) Elde edilecek ısının kullanma oranı (%)	%95 (%5 kayıp - kaçak)
E) Faydalanılacak ortalama ısı (CxD/100)	156kw x %95 = 148kw
F) Isının yılda kaç saat kullanılacağı (h/yıl)	(50+5) x 24hafta/yıl = 1,320saat/yıl
G) Yıllık yakıt tasarruf (ExF) (kwh/yıl)	148kw x 1,320saat/yıl = 195,360kwh/yıl
H) Tasarruf edilen toplam yakıt maliyeti ( €/kwh)	0,011€/kwh / %75 = 0,015€/kwh
I) Yıllık yakıt tasarrufu (€/yıl)	195,360kwh/yıl x 0,015€/kwh = 2,930€/yıl
J) Yardımcı ekipmanların işletme maliyeti (€/yıl)	5kw x 1,320saat/yıl x 0,07€/kwh = 462€/yıl
K) Toplam tasarruf (I-J)	2,930€/yıl - 462€/yıl = 2,468€/yıl
L) Yatırım maliyeti (€)	4,970 €
M) <b>Geri ödeme süresi</b> (L/K)	4,970€/ 2,468€ = <b>2 yıl</b>

### SONUÇ

Basınçlı hava üretiminde kullanılan hava kompresörlerinin hemen hemen hepsinden değişik yöntemlerle ısı geri kazanımını 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.