

ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÖRNEK PROJELERİ

Prof. Dr. Mehmet Kanoğlu
Gaziantep Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü
Mart 2010, Gaziantep

© Her hakkı saklıdır. Yazardan yazılı izin alınmaksızın bu kitaptaki bilgiler kullanılamaz, çoğaltılamaz.

Biyografi: Mehmet Kanoğlu, Gaziantep'te doğdu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümünü 1992'de bitirdi. Yüksek lisansını ve doktorasını ABD'de Nevada Üniversitesi'nde (University of Nevada, Reno) 1996 ve 1999 yıllarında tamamladı. 2000 yılından beri Gaziantep Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. 2006-2007 akademik yılını Canada'da Ontario Üniversitesi'nde (University of Ontario Institute of Technology) misafir öğretim üyesi olarak geçirirken hem dersler vermiş hem de ileri enerji sistemleri üzerine araştırmalar yapmıştır. Bir uluslararası kitabı ve çok sayıda uluslararası makale ve bildirisi vardır. ABD'de yüksek lisans ve doktorasını yaptığı yıllarda ABD Enerji Bakanlığı'nın bir projesi kapsamında Nevada ve California eyaletlerinde bulunan sanayi tesislerinde inceleme ve analizlerde bulunmuş ve bu tesisler için enerji tasarrufu imkanlarını içeren raporlar hazırlamıştır. Nevada'da bulunan bazı şirketler için kriyojenik türbinler ve jeotermal güç santralleri/bölgesel ısıtma sistemleri konularında projelerde görev almıştır. Çalıştığı alanlar arasında ileri enerji sistemleri, jeotermal enerji, güç santralleri, kojenerasyon, enerji yönetimi ve tasarrufu, soğutma sistemleri, doğal gaz ve hidrojen sıvılaştırması sayılabilir.

Giriş

Enerji tasarrufu kavramı, günlük hayatımızda olduğu kadar bu enerjinin çok büyük bir bölümünü kullanan endüstriyel tesislerde de hayati önem taşımaktadır. Tasarruf aynı işi daha az enerji kullanarak yapmaktır. Enerji tasarrufu enerjiyi kullanmamak anlamına gelmez. Enerji tasarrufu, bilinen genel yöntemleri, geliştirme prosedürlerini ve yeni teknolojileri kullanarak ve sosyal hayatın standartlarını dikkate alarak enerjiyi daha etkin kullanmak anlamına gelir. En ucuz enerji tasarruf edilen enerjidir. Türkiye'de enerji tüketiminin % 41'i endüstriyel tesislerde, % 31'i binalarda ve % 20'si taşımacılıkta meydana gelmektedir. Türkiye'de endüstriyel tesislerde yıllık 3,7 milyon TEP (ton eşdeğer petrol) denk düşen bir enerji tüketimi mevcuttur. Yapılan bazı çalışmalar, Türk sanayisinde kullanılan enerjinin % 30'unun tasarruf edilebileceğini göstermektedir.

Fosil yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan karbon emisyonlarını minimize ederek bu emisyonların neden olduğu küresel ısınma ve buna bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliklerini önlemenin iki temel yolu vardır: (1) Fosil yakıtlar yerine yenilenebilir çevre dostu enerji kaynaklarını kullanmak. (2) Enerjiyi daha verimli kullanmak ve enerji tasarrufu yapmak. Endüstriyel tesislerdeki enerji tasarrufundaki amaç, ürün başına tüketilen enerjinin azaltılmasıdır. Enerji tasarrufu, enerjinin gereksiz kullanım sahalarını belirlemek ve israfı asgari düzeye indirmek veya tamamen ortadan kaldırmak için alınan önlemleri içerir. Bu şekilde, üretici aynı miktardaki mal veya hizmetleri daha az enerji ile üreterek, ulusal ve uluslararası alanda rekabet gücünü artırabilir.

Bu çalışmanın amacı literatürde var olan ancak iş yoğunluğu, farkında olmama, eğitimsizlik veya bilinçsizlik gibi nedenlerle kaybolan milyarlarca dolarlık tasarruf potansiyelini nerelerde aramamız gerektiğini vurgulamaktır. Aşağıda, sanayi tesisleri ve binalar için belli başlı enerji tasarrufu yöntemleri basit ve anlaşılır bir şekilde örnekler yardımıyla anlatılmaktadır. Bu metotların bazıları şunlardır:

- (1) yüksek verimli motor kullanımı
- (2) basınçlı hava sistemindeki kaçakların giderilmesi
- (3) basınçlı hava sistemlerinde düşük basınçlı hava kullanımı
- (4) kompresör havasının dış ortamdan alınması
- (5) ısı geri kazanım sistemleri
- (6) yakıtların karşılaştırılması
- (7) kazanlarda verim artırılması
- (8) kazanlarda hava-yakıt oranının optimize edilmesi
- (9) kazanlarda yakma havasının ısıtılması
- (10) sıcak ve soğuk yüzeylerin yalıtımı
- (11) yüksek verimli aydınlatma
- (12) pencerelerde yansıtıcı film kullanılması
- (13) diğer tasarruf yöntemleri

1. Yüksek Verimli Motor Kullanımı

Üretim sektöründe kullanılan endüstriyel ekipmanların çoğu, gücü elektrik motorları sayesinde üretirler. Bir elektrik motorunun belirli bir güç çıkışı için çektiği enerji verimi ile ters orantılıdır. Bütün motorlar gibi elektrik motorları da kullandıkları enerjinin tamamını mekanik enerjiye çeviremezler. Motorun mekanik güç çıkışının, çekilen elektrik gücüne oranı motor verimi olarak adlandırılır ve motor tipi ve büyüklüğüne göre % 70 ile % 96 arasında değişir [8]. Ayrıca kısmi yükte çalışan motorların verimleri de düşüktür. Bu verimler de motordan motora değişiklik gösterir. Örneğin bir motorun tam yükte verimi % 90, yarı yükte % 87 ve ¼ yükte % 80 iken aynı özelliklerdeki başka bir motorun tam yükteki verimi % 91 iken ¼ yükte % 75 verimle çalışabilir.

- ❖ Tipik bir motorun satın alma maliyeti, o motorun toplam maliyetinin %2'sinden bile azdır. Enerji maliyeti ise toplam maliyetin %98'i olabilmektedir.
- ❖ Bazı işletmeciler bozulan eski motorları ucuz olduğu için tekrar tekrar sardırırlar. Halbuki tekrar sardırılan eski motorların zaten düşük olan verimleri daha da düşülebilmekte (her

tamirde %0.5 kadar), ve tamirle sağlanan maliyet tasarrufu artan enerji tüketimi ile kısa sürede yok olabilmektedir.

- ❖ Verimlilik konusunda ön plana çıkmayan standart motorlar EFF3 sınıfında, verimlilikleri artırılmış olanlar EFF2 sınıfında, ve verimlilik açısından birinci sınıf olan en yüksek verimli motorlar ise EFF1 sınıfında yer almaktadırlar. Bazı çok uluslu firmaların karar vericileri bu gerçeği tüm netliğiyle anlamışlar, ve arızalanan standart motorları en yüksek verimli olanları ile (EFF1 sınıfı) değiştirme kararı alıp bu kararı uygulamaya koymuşlardır.
- ❖ Bir örnek vermek gerekirse, 20 hp gücündeki standart bir motorun verimi %88 civarındadır. Ama aynı güçteki yüksek verimli bir motorun verimi %91'e çıkmakta, ve en yüksek verimli motorlarda bu değer %93'e ulaşmaktadır.

Mekanik enerjiye çevrilemeyen elektrik enerjisinin bir kısmı ısıya dönüşür. Motorlar tarafından üretilen bu ısı miktarı eğer sönmelenmediği takdirde yüzeyde aşırı ısınmaya sebep olabilir. Motorların mevcut karakteristikleri üzerinde yakın bir inceleme yapacak olursak, farklı üreticiler tarafından üretilen motorların verimlerinde yaygın bir değişiklik olduğunu belirleriz. Bazı üreticiler tarafından üretilen bazı standart motorların başka üreticilerin sahip olduğu yüksek verimli motorlara kıyasla daha yüksek verime sahip olduğunu görmek de ilginçtir. Bundan dolayı, işletmelerde çalışan yetkili personelin yeni bir motor siparişi vermeden önce ve herhangi bir katalogda motor seçmek yerine bazı önemli noktaları kontrol etmesinde fayda vardır.

Son yıllarda geliştirilen yüksek verimli motorların maliyetleri standart motorlara göre % 15 - 25 daha pahalı olmakla birlikte, çoğu zaman işletme maliyetlerinin düşük olmaları nedeni ile bu fark kısa bir sürede geri kazanılır [5]. Bu motorların sargılarında kullanılan bakır iletkenin kesitinin artırılması ile primer I²R kayıpları düşürülebilir. Demir göbek kayıpları akı yoğunluğunun azalmasıyla, genellikle stator göbeğinin boynunun artırılması ile sınırlandırılır. Bunun yanında bu kayıplar levha kalınlığının azalması ve kaliteli alaşım kullanılarak da azaltılabilir. Ayrıca yüksek verimli motorlarda azalan kayıplar nedeniyle, açığa çıkan ısının dışarıya verilmesi ihtiyacı azalır. Standart bir motorun yüksek verimli motor ile değiştirilmesi durumunda tasarruf edilecek enerji aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanabilir.

$$\text{Enerji Tasarrufu} = \text{Toplam Nominal Güç} \times \text{ÇS} \times \text{YO} \times (1/\eta_{\text{standart}} - 1/\eta_{\text{yüksek verimli}})$$

ÇS: çalışma süresi

YO: yükleme oranı (fili yükün tam yüke oranı)

η_{standart} : standart tip motor verimi

$\eta_{\text{yüksek verimli}}$: yüksek verimli tip motor verimi

Hesaplanan enerji tüketimi miktarıyla elde edilebilecek para tasarrufu

$$\text{Para tasarrufu} = \text{Enerji tasarrufu} \times \text{Enerjinin birim fiyatı}$$

denklemleriyle hesaplanır.

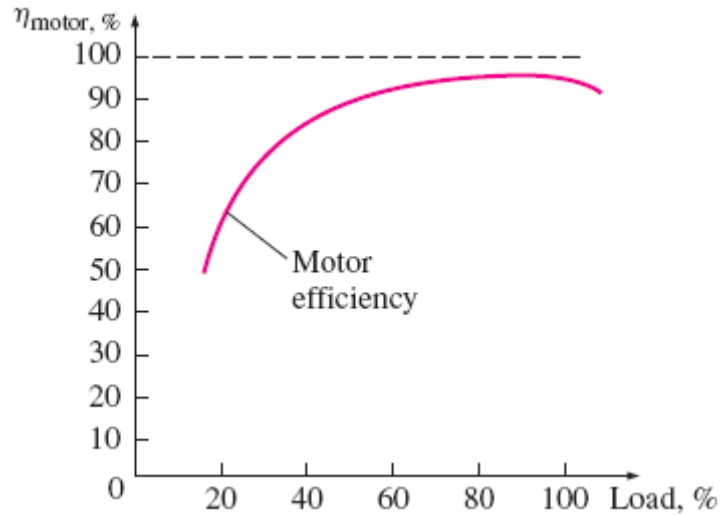
Standart motor ile yüksek verimli motorların karşılaştırılması Tablo 1'de verilmiştir [10].

Bazı sanayi tesislerinde mevcut ihtiyaçtan daha büyük güçte elektrik motoru satın alındığı görülür. Bunun nedeni gelecekte ihtiyacın büyüyecek olma ihtimalidir. Sonuçta alınan motor zamanın hemen hemen tamamında kısmi yükte çalışmak durumunda kalır. Şekilde görüldüğü gibi bir motorun verimi tam yükte maksimum iken kısmi yüklerde düşüş gösterir. Dolayısıyla harcanan elektrik, daha küçük bir motorun kullanılması ve motorun zamanın büyük bölümünde tam yükte çalıştırılmasıyla önemli ölçüde azaltılabilir (Şekil 1).

Tablo 1. Motor verimlerinin karşılaştırılması* [10]

Nominal Motor Gücü (hp)	Nominal Motor Gücü (kW)	Standart tip motor ortalama verimi	Yüksek verimli motor ortalama verimi
1	0.746	0.825	0.865
1.5	1.119	0.840	0.894
2	1.492	0.840	0.888
2.5	1.865	0.812	0.870
3	2.238	0.875	0.895
4	2.984	0.827	0.889
5	3.73	0.875	0.902
7.5	5.595	0.895	0.917
10	7.46	0.895	0.917
15	11.19	0.910	0.930
18	13.428	0.878	0.924
20	14.92	0.910	0.936
25	18.65	0.924	0.941
30	22.38	0.924	0.941
40	29.84	0.930	0.945
50	37.3	0.930	0.950
60	44.76	0.936	0.954
75	55.95	0.941	0.954
100	74.6	0.945	0.958
125	93.25	0.945	0.954
150	111.9	0.950	0.958
200	149.2	0.950	0.958
250	186.5	0.954	0.962
300	223.8	0.954	0.962

* Değerler sekiz firmanın ortalama değeri olup, motorun tam yükte çalışması durumu için geçerlidir.



Şekil 1. Elektrik motorunun verimi kısmi yükte düşer [1].

Yüksek Verimli Motorların Sağladığı Enerji ve Maliyet Tasarrufu (Kaynak: EİE)

Anma Gücü		Motor verimi ¹ %			EFF3 yerine EEF1 Kullanımında Yıllık Asgari Tasarruf ^{2,3,4}	
kW	HP	EFF3	EFF2	EFF1	kWh/yıl	YTL/yıl
1.5	2.0	<78.5	78.5 – 85.0	>85.0	877	140
3.0	4.0	<82.6	82.6 – 87.4	>87.4	1197	192
7.5	10	<87.0	87.0 – 90.1	>90.1	1780	285
15	20	<89.4	89.4 – 91.8	>91.8	2632	421
30	40	<91.4	91.4 – 93.2	>93.2	3803	608
45	60	<92.5	92.5 – 93.9	>93.9	4352	696
75	100	<93.6	93.6 – 94.7	>94.7	5584	893
90	121	<93.9	93.9 – 95.0	>95.0	6659	1065

¹ Motor verimi için verilen nümerik değerler standart (EFF3 grubu) motorlar için en yüksek, yüksek verimli (EFF1 grubu) motorlar için de en düşük değerlerdir. Spesifik verim değerleri firmadan firmaya değişir. Kaynak: C.E.M.E.P., <http://www.cemep.org/cemep/organization/lvac/English.pdf>

² Yıllık enerji tasarrufu = kW×Yük faktörü×işletme saati×(1/η_{std} – 1/η_{ver})

³ Yıllık maliyet tasarrufu = Yıllık enerji tasarrufu×enerji birim fiyatı

⁴ Kabuller: Yük faktörü 1.0; yıllık kullanım süresi 6000 saat; elektrik birim fiyatı 0.16 YTL/kWh.

Değişken hızlı sürücü (DHS) sistemleri

- ❖ Değişken hızlı sürücü (DHS) sistemleri – invertörlü veya değişken frekanslı sürücü sistemleri olarak da bilinir – alternatif akımın frekansını ve dolayısı ile motorun dönüş hızını değiştirerek motorun gereğinden fazla yük çekmesini önler. Bu da aynı işin çok daha az enerji kullanarak yapılmasını sağlar.
- ❖ Motorlara invertör sistemi ilavesi ile %50'ye varan enerji tasarrufu mümkündür. Yani aynı iş için motorun tükettiği elektrik enerjisi yarı yarıya azaltılabilir.
- ❖ İntertör ile techiz edilmiş motorların maliyeti elbette daha yüksektir. Ancak doğru seçilmiş uygulamalarda – pompa ve kompresörler gibi – DHS sistemleri maliyetlerini genellikle iki yıl veya daha az bir süre içinde tasarruf ettikleri enerjiden öderler.

Örnek 1 Bir işletmede 150 hp (beygir gücü) gücünde bir kompresör yanmış ve % 93 verimli standart bir motor veya % 96.2 verimli yüksek verimli bir motor ile değiştirilecektir. Standart motorun fiyatı 9030 TL iken yüksek verimli motorun değeri 10 940 TL'dir. Kompresör yılda 4300 saat tam yükte çalışmaktadır. Elektriğin birim fiyatını 0.22 TL/kWh olarak bu işletmenin yüksek verimli motor olarak yapacağı yıllık enerji ve para tasarrufunu bulunuz. Ayrıca tasarruf miktarının ilk fiyat farkını ne kadar sürede geri ödeyeceğini bulunuz.

Çözüm Yıllık enerji ve para tasarrufu aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\begin{aligned} \text{Enerji tasarrufu} &= \text{Toplam nominal güç} \times \text{ÇS} \times \text{YO} \times (1/\eta_{\text{standart}} - 1/\eta_{\text{yüksek verimli}}) \\ &= (150 \text{ hp})(0.746 \text{ kW/hp})(4300 \text{ saat/yıl})(1.0)(1/0.930 - 1/0.962) \\ &= 17 210 \text{ kWh/yıl} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Para tasarrufu} &= \text{Enerji tasarrufu} \times \text{Enerjinin birim fiyatı} \\ &= (17 210 \text{ kWh/yıl})(0.22 \text{ TL/kWh}) \\ &= 3786 \text{ TL/yıl} \end{aligned}$$

Yüksek verimli motorun ekstra maliyeti:

$$\text{Fiyat farkı} = 10 940 \text{ TL} - 9030 \text{ TL} = 1910 \text{ TL}$$

Fiyat farkını yapılan tasarrufun geri ödeme süresi:

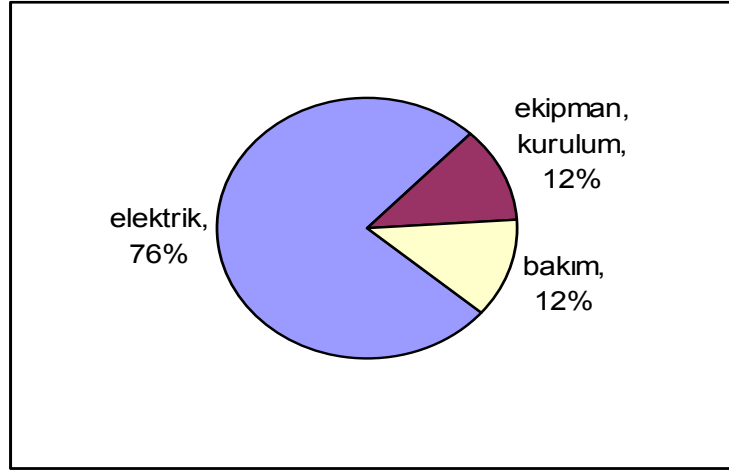
$$\text{Geri ödeme süresi} = (1910 \text{ TL}) / (3786 \text{ TL/yıl}) = 0.505 \text{ yıl} = 6 \text{ ay}$$

2. Basınçlı Hava Sistemindeki Kaçakların Giderilmesi

Endüstriyel tesislerde kullanımı yönünden çok değerli, olmazsa olmaz kaynaklardan biri olan “basınçlı hava” bu tesislerin en çok para ödedikleri işlemlerden bir tanesini oluşturmaktadır. Kompresörler birçok sanayi tesisinde en çok enerji harcayan ekipmanların başında gelmektedir. Kompresörler, kurutucular ve diğer destek ekipmanlarının bir yıllık çalışma maliyetleri toplam yıllık ödenen elektrik faturasının % 70’ini oluşturmaktadır [3]. Basınçlı hava sisteminde olacak bir arıza birçok tesiste üretimin durmasına sebep olmaktadır.

Günümüzde kompresörsüz bir fabrika düşünmek oldukça zordur. Üretim sahalarında basınçlı hava; matkap, hava tabancaları ve öğütücüler gibi küçük el aletlerinden akışkan depolanması, işlem tankları ve pnömatik ekipmanlar gibi birçok yerde kullanılmaktadır.

Yapılan enerji tasarrufu çalışmalarında, enerji tasarruf potansiyelinin en yüksek olduğu alanlardan birinin basınçlı hava sistemi olduğu görülmüştür. 10 kW ile 10.000 kW arasında üretim kapasitesine sahip kompresör sistemlerindeki yetersiz tesisat ve bakımdan kaynaklanan enerji kaybı, kompresörün harcadığı enerjinin %50’sine varabilir ve basit işletme tedbirleri ile bunun yarısının önlenmesi pratik olarak mümkündür [11]. Bir kompresörü bir sene çalıştırmak için harcanan elektrik enerjisinin maliyeti genelde kompresörün satın alma fiyatını geçer (Şekil 2) [15]. Örneğin 100 kW gücünde ve %90 verimle çalışan bir elektrik motoruna sahip kompresörün yılda 6000 saat çalıştığı varsayılırsa, 0.07 USD/kWh enerji birim fiyatı için yıllık enerji harcaması 46,600 USD’dir. Bu örnek basınçlı hava sistemindeki tasarrufun rakamsal boyutunu ortaya koymaktadır. Oysa bu sistemlerde pratik bazı önlemlerle önemli miktarda enerji ve mali tasarruflar sağlanabilir [1].



Şekil 2. Tipik bir kompresörün ömrü boyunca maliyetleri

Hava kaçakları, basınçlı hava sisteminde meydana gelen enerji kayıplarının en önde gelen sebebidir. Bir kompresörün hava kaçaklarının oluşturduğu basınç düşümünü önlemesi için daha uzun zaman çalışması gerekmektedir. Çeşitli çalışmaların gösterdiğine göre, üretilen basınçlı havanın yaklaşık % 25’i sızıntılar nedeniyle kayıp olmaktadır [16]. Bu kayıpların tamamen önlenmesi pratik değildir ve % 10’a indirilmesi kabul edilebilir bir sınır olarak benimsenmektedir [4]. Tablo 2’de çalışma basıncına ve delik çapına bağlı olarak hava kaçak miktarları verilmiştir [7].

Tablo 2. Basınçlı hava sistemlerinde hava kaçak miktarları (litre/dakika) [7]

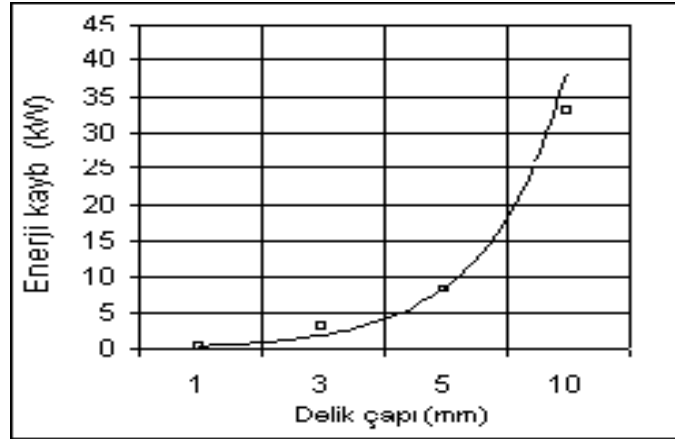
Delik çapı (mm)	Çalışma basıncı (bar)				
	2	4	6	8	10
0.5	8	12	15	20	25
1	30	45	65	85	105
1.5	55	90	125	160	200
2	100	170	240	310	380
3	225	375	520	675	825
4	410	700	980	1250	1500
5	640	1050	1500	1870	2300
6	900	1520	2120	2750	3350
8	1250	2700	3770	4800	5850
10	1950	4230	5900	7500	9200

Kaçak hava miktarı hat basıncına, basınçlı havanın kaçak noktasındaki sıcaklığına, kompresör emişindeki hava sıcaklığına ve havanın kaçtığı deliğin çapına bağlıdır. Genelde hava kaçakları, boruların bağlantı yerlerinde, flaşlarda, manşon ve dirseklerde redüksiyonlarda, vana gövdelerinde, filtrelerde, hortumlarda, çek vanalarda, uzatmalarda ve basınçlı havayı kullanan cihazlarda olmaktadır. Sıcaklık değişimleri ve titreşim bağlantılarının gevşemesinin ve böylece de sızıntıların başlıca sebepleridir. Bu nedenle boruların birleşme yerlerini periyodik olarak gözden geçirmek bu konuda yapılacakların başında gelir. Kaçaklar genelde son kullanım yerinde veya basınçlı hava hattının ekipmana bağlandığı yerde olur. Sık sık basınçlı hava girişinin açıp kapandığı bu gibi yerlerde contalar hızla bozulur. Bu nedenle contaların da periyodik olarak bakımının yapılarak eskiyenlerin değiştirilmesi gereklidir. Basınçlı hava kaçaklarını bulmanın birçok metodu vardır. Kullanılan en modern metot, ultrasonik ses detektörü kullanmaktır. Hava kaçaklarının oluşturdukları, insan kulağının duyamayacağı seviyedeki sesleri bir mikrofon vasıtası ile algılayarak, kulağın duyabileceği seviyeye yükselterek çalışan bu cihazlar ile yaklaşık da olsa kaçan havanın miktarını da tahmin etmek mümkündür. Basınçlı hava sistemi kayıplarının hesaplarında kompresör tipine bağlı olarak kompresör verimi kullanılır. Kompresör tipine bağlı olarak kompresör verimi Tablo 3'de verilmiştir [9].

Tablo 3. Kompresör tipine göre verimler [9]

Kompresör Tipi	η_{komp}
Tek kademeli pistonlu	0.88
Çok kademeli pistonlu	0.75
Vidalı	0.82
Rotary	0.72
Tek kademeli santrifüj	0.80
Çok kademeli santrifüj	0.70
Turbo blöver	0.70
Roots blöver	0.62

Delik çapı büyüdükçe basınç kayıpları eksponensiyel olarak artmaktadır. Basınçlı hava sisteminde delik çapına bağlı olarak enerji kaybının değişimi Şekil 3'de verilmiştir [7]. Bu kayıpların dayandığı veriler şunlardır: vidalı kompresör, motor verimi=0.90, kompresör çıkış basıncı=700 kPa, hat basıncı=650 kPa, kaçan hava sıcaklığı=20°C, atmosfer basıncı=101 kPa, $C_d=0.8$.



Şekil 3. Basınçlı hava sisteminde delik çapına bağlı olarak enerji kaybı

Bir basınçlı hava hattında eğer basınç 2 atmosferin üstünde ise havanın hızı kaçağın olduğu delikte ses hızına eşittir. Bu durumda minimum kesit alanının A olduğu bir delikten kaybolan hava debisi aşağıdaki denklemle bulunur:

$$\dot{m}_{\text{hava}} = C_{\text{kayıp}} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{1/(k-1)} \frac{P_{\text{hat}}}{RT_{\text{hat}}} A \sqrt{kR \left(\frac{2}{k+1} \right) T_{\text{hat}}}$$

A : Minimum kesit alanı

k : özgül ısı oranı. Hava için 1.4

$C_{\text{kayıp}}$: Kayıp sabiti. Delikteki geometrik bozuklukları ifade eder. Sivri kenarlı bozuk bir delik için bu değer 0.60 iken çok iyi yuvarlatılmış düzgün bir delik için 0.97 alınır. Sızıntı olan delikler genelde bozuk şekilli olduğu için gerçek değerlerin bilinmediği durumlarda 0.65 alınması tavsiye edilir.

T_{hat} : Basınçlı hava hattındaki sıcaklık

P_{hat} : Basınçlı hava hattındaki basınç

Bir basınçlı hava hattındaki delikler dolayısıyla kaçan havanın neden olduğu mekanik iş kaybı bu kaçan havayı sıkıştırmak için kompresörde harcanan işe eşittir ve aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$W_{\text{komp}} = \frac{nRT_1}{\eta_{\text{komp}}(n-1)} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right]$$

n : Politropik sıkıştırma sabiti. Eğer sıkıştırma izentropik ise bu değer özgül ısı oranı k ya eşittir ve değeri 1.4'dür. Politropik sabit izentropik olmayan sıkıştırmalar ve hava için 1 ile 1.4 arasında değişir.

η_{komp} : kompresör verimi. Tablo 3'deki değerler kullanılabilir.

Basınçlı hava hattından delikler dolayısıyla kaçan havanın neden olduğu güç kaybı (veya bu deliklerin tamir edilmesiyle tasarruf edilen güç) şu şekilde bulunur:

$$\text{Güç kaybı} = \dot{m}_{\text{hava}} W_{\text{komp}}$$

Bu güç kaybının tasarruf edilmesiyle elde edilecek olan enerji tasarrufu miktarı ise

$$\text{Enerji tasarrufu} = (\text{Güç kaybı})(\text{Yıllık çalışma süresi})/\text{Motor verimi}$$

denklemleri ile bulunur. Burada kompresörü çalıştıran motor verimi kullanılmaktadır.

Örnek 2 Bir sanayi işletmesinde basınçlı hava 20°C sıcaklığında ve 850 kPa üst (gage) basıncında bir boruda akmaktadır. Boru üzerinde 5 mm çapında bir delik gözlenmiştir. Bu deliğin kapatılmasıyla elde edilecek enerji ve para tasarrufunu bulunuz. Atmosferik basınç 90 kPa'dır. Basınçlı hava % 80 verimli ve yılda 4000 saat çalışan bir kompresörden elde edilmektedir. Kompresörü çalıştıran motorun verimi % 93 ve elektriğin fiyatı 0.22 TL/kWh'dır.

Çözüm Mutlak basınç üst basınçla atmosfer basıncının toplamına eşittir. Birim kütledeki havanın 20°C ve 90 kPa basınçtan 850+90 = 940 kPa basınca sıkıştırılması için gereken iş

$$w_{\text{komp}} = \frac{nRT_1}{\eta_{\text{komp}}(n-1)} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right]$$

$$= \frac{(1.3)(0.287 \text{ kJ/kg.K})(293 \text{ K})}{(0.8)(1.3-1)} \left[\left(\frac{940 \text{ kPa}}{90 \text{ kPa}} \right)^{(1.3-1)/1.3} - 1 \right]$$

$$= 327 \text{ kJ/kg}$$

olarak bulunur. Havanın gaz sabiti 0.287 kJ/kg.K'dir ve politropik sabit 1.3 olarak alındı. Deliğin çapı $A = \pi D^2 / 4 = \pi(5 \times 10^{-3} \text{ m})^2 / 4 = 19.63 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ olarak bulunur. Delikten kaçan havanın debisi aşağıdaki denklemlerle bulunur.

$$\dot{m}_{\text{hava}} = C_{\text{kayıp}} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{1/(k-1)} \frac{P_{\text{hat}}}{RT_{\text{hat}}} A \sqrt{kR \left(\frac{2}{k+1} \right) T_{\text{hat}}}$$

$$= (0.65) \left(\frac{2}{1.4+1} \right)^{1/(1.4-1)} \frac{940 \text{ kPa}}{(0.287 \text{ kPa.m}^3/\text{kg.K})(293 \text{ K})} (19.63 \times 10^{-6} \text{ m}^2)$$

$$\times \sqrt{(1.4)(0.287 \text{ kJ/kg.K}) \left(\frac{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2}{1 \text{ kJ/kg}} \right) \left(\frac{2}{1.4+1} \right) (293 \text{ K})}$$

$$= 0.02832 \text{ kg/s}$$

Böylece kaybedilen güç

$$\text{Güç kaybı} = \dot{m}_{\text{hava}} w_{\text{komp}} = (0.02832 \text{ kg/s})(327 \text{ kJ/kg}) = 9.26 \text{ kW}$$

olarak bulunur. Deliğin kapatılmasıyla elde edilecek yıllık enerji ve para tasarrufu ise şu şekilde bulunur:

$$\begin{aligned} \text{Enerji tasarrufu} &= (\text{Güç kaybı})(\text{Yıllık çalışma süresi})/\text{Motor verimi} \\ &= (9.26 \text{ kW})(4000 \text{ saat/yıl})/0.93 \\ &= 39 \text{ 830 kWh/yıl} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Para tasarrufu} &= (\text{Enerji tasarrufu})(\text{Enerjinin birim fiyatı}) \\ &= (39 \text{ 830 kWh/yıl})(0.22 \text{ TL/kWh}) \\ &= 8763 \text{ TL/yıl} \end{aligned}$$

3. Basınçlı Hava Sistemlerinde Düşük Basınçlı Hava Kullanımı

Basınçlı hava genellikle bedava bir enerji kaynağı olarak düşünülmektedir. Bu sistemlerde temel amaç minimum kapasite ile maksimum iş yapılmasını sağlamaktır. Basınçlı havanın optimum kullanımı çok önemlidir. Bunun yerine kullanılacak daha verimli, daha ucuz metotlar araştırılmalı, örneğin; 6-8 barda üretilen basınçlı hava düşük basınç gerektiren sistemlerde kullanılmamalıdır. Bilindiği gibi basınç yükseldikçe harcanan enerji de artacaktır. Bu tip düşük basınçlarda kompresör yerine "root blower" dediğimiz üfleyiciler kullanılmalıdır. Gerekirse değişik basınç altında çalışan ekipmanlar ayrı kompresör ve hatlardan beslenmelidir. Hattı ayırıp regülatör kullanmak da verimi artıracak ve yüksek basınç sebebiyle oluşacak sızıntıları engelleyecektir.

Basınçlı hava sistemlerinde meydana gelen sızıntılar ve boru kesitlerinin yeterince büyük seçilmemesi gibi nedenler ani hava kullanımlarında basınç düşümüne sebep olmaktadır. Basıncın düşmesi ise işletmeleri kompresör çalışma basıncı set değerlerini yükseltmeye yönlendirmektedir. Sonuç

olarak harcanan enerji artacaktır. Ayrıca bir diğer çözüm de, çalışma noktalarına yakın yerler de basınçlı hava tankları koymaktır.

Kompresör çıkış basıncının gerekli görevi yapabilecek daha düşük bir değere düşürülmesiyle elde edilebilecek tasarruf oranını bulmak için aşağıdaki formül kullanılır:

$$\text{Güç azaltma faktörü} = 1 - \frac{(P_{2,\text{azaltılmış}} / P_1)^{(k-1)/k} - 1}{(P_2 / P_1)^{(k-1)/k} - 1}$$

P_1 : Giriş basıncı

$P_{2,\text{azaltılmış}}$: Azaltılmış çıkış basıncı

P_2 : Mevcut çıkış basıncı

k : Özgül ısı oranı. Hava için 1.4.

Basıncın azaltılmasıyla elde edilebilecek yıllık enerji tasarrufu miktarı aşağıdaki formülle bulunur.

$$\text{Enerji tasarrufu} = (\text{Güç azaltma faktörü})(\text{Kompresör nominal gücü})(\text{YO})(\text{ÇS})/\text{Motor verimi}$$

YO: Yükleme oranı (fiili yükün tam yüke oranı)

ÇS: Yıllık çalışma süresi

Örnek 3 Bir sanayi kuruluşunun basınçlı hava ihtiyacı havayı 100 kPa'dan 800 kPa basınca yükselten 175 hp'lik (beygir gücü) bir kompresör tarafından karşılanmaktadır. Yapılan bir inceleme sonucunda kuruluşun basınçlı hava ihtiyacının 600 kPa olduğu anlaşılmıştır. Çıkış basıncının bu değere çekilmesi ile sağlanacak enerji ve para tasarrufunu bulunuz. Basınçlı hava yılda 3500 saat ortalama % 75 kısmi yükte çalışan bir kompresörden elde edilmektedir. Kompresörü çalıştıran motorun verimi % 88 ve elektriğin fiyatı 0.22 TL/kWh'dır.

Çözüm Basıncın düşürülmesiyle sağlanacak tasarruf oranı

$$\begin{aligned} \text{Güç azaltma faktörü} &= 1 - \frac{(P_{2,\text{azaltılmış}} / P_1)^{(k-1)/k} - 1}{(P_2 / P_1)^{(k-1)/k} - 1} \\ &= 1 - \frac{(600/100)^{(1.4-1)/1.4} - 1}{(800/100)^{(1.4-1)/1.4} - 1} \\ &= 0.176 \end{aligned}$$

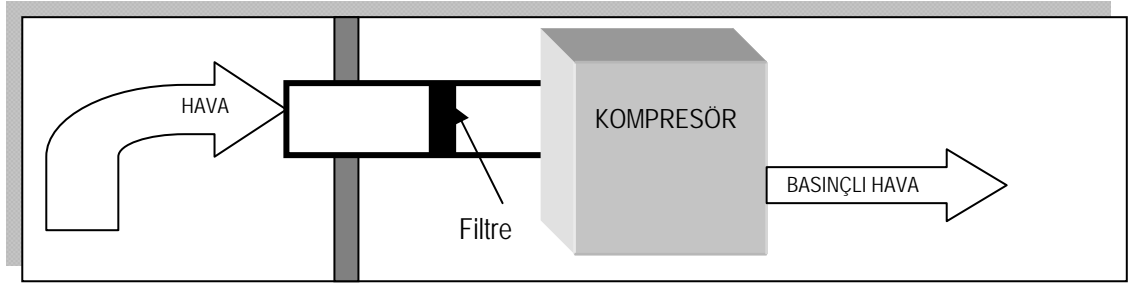
olarak bulunur. Enerji ve para tasarrufu ise aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\begin{aligned} \text{Enerji tasarrufu} &= (\text{Güç azaltma faktörü})(\text{Kompresör nominal gücü})(\text{YO})(\text{ÇS})/\text{Motor verimi} \\ &= (0.176)(175 \text{ hp})(0.746 \text{ kW/hp})(0.75)(3500 \text{ saat/yıl})/0.88 \\ &= 68 \text{ 600 kWh/yıl} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Para tasarrufu} &= (\text{Enerji tasarrufu})(\text{Enerjinin birim fiyatı}) \\ &= (68 \text{ 600 kWh/yıl})(0.22 \text{ TL/kWh}) \\ &= 15 \text{ 090 TL/yıl} \end{aligned}$$

4. Kompresör Havaasının Dış Ortamdan Alınması

Özellikle kış aylarında dış hava sıcaklığı bir fabrika içindeki havanın sıcaklığından düşüktür. Havanın yoğunluğu sıcaklığın düşmesiyle artar ve harcanan daha az enerji ile daha çok hava sıkıştırma imkânı doğar. Hesaplamalara göre yaklaşık her 3°C'lik sıcaklık düşüşünde, enerji kullanımı % 1 azalmaktadır [4].



Şekil 4. Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Amaçlı Dış Ortam Havaasının Kullanılması

Kompresörlerin havayı sıcak olan ortam yerine soğuk olan dış havadan almalarıyla (Şekil 4) elde edilebilecek güç azaltma faktörü şu formülle bulunur [7]:

$$\text{Güç azaltma faktörü} = 1 - \frac{T_{\text{dış hava}}}{T_{\text{iç hava}}}$$

$T_{\text{dış hava}}$: Dış hava sıcaklığı

$T_{\text{iç hava}}$: İç hava sıcaklığı

Soğuk dış havanın kompresöre emilmesiyle elde edilebilecek yıllık enerji tasarrufu miktarı aşağıdaki formülle bulunur.

$$\text{Enerji tasarrufu} = (\text{Güç azaltma faktörü})(\text{Kompresör nominal gücü})(\text{YO})(\text{ÇS})/\text{Motor verimi}$$

YO: Yükleme oranı (fiili yükün tam yüke oranı)

ÇS: Yıllık çalışma süresi

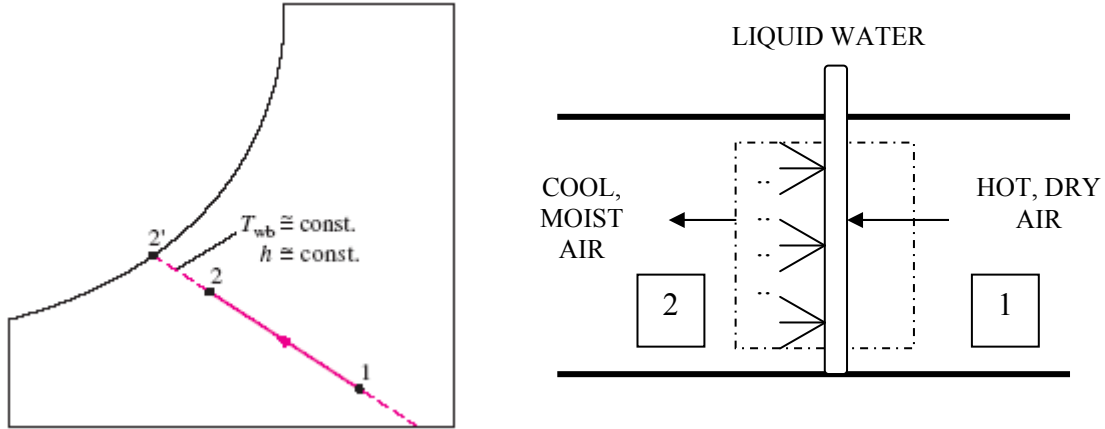
Prensip olarak soğuk, temiz ve kuru hava girişi daha verimli bir sıkıştırma sağlar. Bu nedenle kompresör kurulumu kuzey ve nem (yağmur) almayan bir alanda yapılmalıdır. Hava girişi ile kompresör arasındaki hattın kısa, düz ve çapının büyük olması basınç düşmelerinin minimuma inmesine katkı sağlayacaktır. Hava girişine yerleştirilen filtreler ile havanın içerisinde bulunan toz ve pislikler temizlenmiş olacaktır. Filtreler sık sık değiştirilmelidir yoksa tıkanarak basınç düşümlerine neden olacaktır [12].

Sıcak ve kuru iklimlerde, evaporatif soğutma yöntemiyle kompresöre giren hava soğutularak kompresör enerji tüketimi azaltılabilir. Bu işlem şematik olarak ve psikometrik diagram üzerinde aşağıda (Şekil 5) gösterilmiştir. Kuru ve sıcak havanın üzerine sıvı su püskürtülmesiyle suyun bir kısmı buharlaşır ve buharlaşma için gerekli ısı havadan sağlandığı için havanın sıcaklığı azalır ve nem oranı artar.

Evaporatif soğutma, psikometrik diyagramda sabit yaş termometre sıcaklığını takip eder. Evaporatif işlemden önce ve sonraki sıcaklıklar T_1 ve T_2 ile gösterilirse, kompresör elektrik tüketiminde sağlanacak oransal tasarruf oranı

$$\text{Güç azaltma faktörü} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

denklemlerle bulunur.



Şekil 5. Evaporatif soğutma işlemi

Örnek 4 Bir fabrikada 225 kW gücünde bir kompresör bir fabrikanın içinde bulunmakta ve ortalama sıcaklığı 20°C olan bu iç havayı sıkıştırmaktadır. Bu sırada dış havanın ortalama sıcaklığı 5°C'dir. Kompresörün havayı dışarıdan almasıyla sağlanabilecek yıllık enerji ve para tasarrufunu bulunuz. Bu kompresör yılda 3750 saat ortalama % 70 yükte çalışmaktadır. Kompresörü çalıştıran elektrik motorunun verimi % 92 ve elektriğin fiyatı 0.22 TL/kWh'dır.

Çözüm Dış havanın emilmesiyle yapılacak tasarruf oranı ilgili formülle ve sıcaklık için Kelvin birimi kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\text{Güç azaltma faktörü} = 1 - \frac{T_{\text{dis hava}}}{T_{\text{ic hava}}} = 1 - \frac{(5 + 273)\text{K}}{(20 + 273)\text{K}} = 0.0512$$

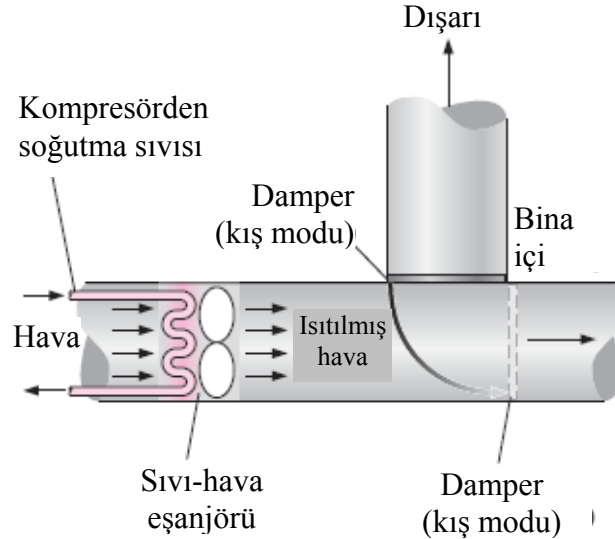
Örnekteki kompresör için bu % 5.12'lik güç tasarrufunun yıllık enerji ve para karşılığı ise

$$\begin{aligned} \text{Enerji tasarrufu} &= (\text{Güç azaltma faktörü})(\text{Kompresör nominal gücü})(\text{YO})(\text{ÇS})/\text{Motor verimi} \\ &= (0.0512)(225 \text{ kW})(0.70)(3750 \text{ saat/yıl})/0.92 \\ &= 32 \ 870 \text{ kWh/yıl} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Para tasarrufu} &= (\text{Enerji tasarrufu})(\text{Enerjinin birim fiyatı}) \\ &= (32 \ 870 \text{ kWh/yıl})(0.22 \text{ TL/kWh}) \\ &= 7230 \text{ TL/yıl} \end{aligned}$$

5. Isı Geri Kazanım Sistemleri

Endüstriyel tesislerde birçok uygulama sonucunda atık ısı meydana gelir ve bu atık ısının atmosfere atılmadan önce işletmede farklı faydalı amaçlar için kullanılması ile önemli miktarlarda enerji ve para tasarrufu sağlanabilir. Bir örnek vermek gerekirse, elektrik tüketimini azaltmak için, kompresörler bazen doğrudan hava ile bazen de su, yağ gibi bir sıvının etrafından dolaştırılmasıyla soğutulurlar. Su veya yağ tarafından kompresörden alınan ısı bir sıvı-hava ısı değiştiricisi ile atmosfere atılır. Atılan bu ısı miktarı kompresörde harcanan ısı % 60'ı ile %90'ı arasında değişir. Bu atık ısı, kış aylarında ortamın ısıtılması, kazanda hava veya suyun ön ısıtılması veya işletmede diğer faydalı bir amaç için kullanılabilir. Örneğin 110 kW gücünde bir kompresörün gücünün % 60'ının atık ısı olarak atıldığı varsayılırsa 66 kW'lık bir ısıtıcının vereceği bir ısı faydalı amaçlar için kullanılabilir. Şekil 6'da kompresörden alınan ısının ortam ısıtılması için nasıl kullanılabileceği gösterilmiştir.



Şekil 6. Bir kompresörden alınan atık ısının kışın ortam ısıtılmasında kullanımı. Damper havayı kışın içeriye yazın dışarıya gönderir. Kaynak: Çengel and Boles (2007)

Bir kompresörde sıkıştırılan hava, kompresörü oldukça yüksek bir sıcaklıkta terk eder. Örneğin 700 kPa bir basınca adyabatik olarak sıkıştırıldığında sıcaklık 250°C'ye ulaşabilir. Yüksek sıcaklıktaki bu hava işletmede kullanıldıktan sonra atmosfere ortama göre oldukça yüksek bir sıcaklıkta atılıyor olabilir. Bu durumda sıcak havanın ısısının bir ısı eşanjöründen geçirilerek hava veya suyun ısıtılması ve bu ısıtılan akışkanın ortam ısıtılması veya başka bir faydalı amaç için kullanılması mümkündür.

Örnek 5 Bir fabrika, kışın % 85 verimli bir doğal gaz kazanı ile ısıtılmaktadır. Bu fabrikanın basınçlı hava ihtiyacı, büyük boyutta bir sıvı soğutmalı kompresör ile sağlanmaktadır. Kompresör soğutucusu bir sıvı-hava ısı eşanjörü ile soğutulmaktadır. Eşanjörün hava bölümü 80 cm yüksekliğinde ve 80 cm genişliğindedir. Normal çalışma şartlarında eşanjörde hava, 20°C'den 50°C'ye çıkarılmaktadır. Havanın ortalama hızı 3 m/s'dir. Kompresör, günde 18 saat ve haftada 5 gün çalışmaktadır. Kış sezonunu 24 hafta ve doğal gaz fiyatını 0.52 TL/m³ olarak kompresör atık ısısının fabrikada ortam ısıtılmasında kullanılmasıyla elde edilebilecek enerji ve para tasarrufunu bulunuz. Doğal gazın ısı değerini 34 500 kJ/m³ alınız.

Çözüm Fabrikanın deniz seviyesinde olduğunu varsayarak ve havanın yoğunluğunu 1.2 kg/m³ olarak, ısı eşanjöründe akan havanın debisi

$$\begin{aligned} \text{Havanın debisi} &= (\text{Havanın yoğunluğu})(\text{Ortlama hız})(\text{Akış kesit alanı}) \\ &= (1.2 \text{ kg/m}^3)(3 \text{ m/s})(0.8 \times 0.8 \text{ m}^2) \\ &= 2.304 \text{ kg/s} = 8294 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

olarak bulunur. Hava, 30°C'lik bir sıcaklık artışına maruz kalmaktadır. Havanın özgül ısısını 1.0 kJ/kg.°C olarak geri kazanılabilecek ısı oranı aşağıdaki gibi bulunur.

$$\begin{aligned} \text{Isı geri kazanım oranı} &= (\text{Havanın debisi})(\text{Özgül ısı})(\text{Sıcaklık artışı}) \\ &= (8294 \text{ kg/h})(1.0 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C})(30^\circ\text{C}) \\ &= 248 830 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

Kış mevsiminde bu kompresörün çalışma süresi:

$$\begin{aligned} \text{Çalışma süresi} &= (18 \text{ saat/gün})(5 \text{ gün/hafta})(24 \text{ hafta/yıl}) \\ &= 2160 \text{ saat/yıl} \end{aligned}$$

Yıllık enerji ve para tasarrufu:

$$\text{Enerji tasarrufu} = \frac{(\text{Isı geri kazanım oranı})(\text{Çalışma süresi})}{(\text{Isıl değer})(\text{Kazan verimi})} = \frac{(248 830 \text{ kJ/h})(2160 \text{ saat/yıl})}{(34 500 \text{ kJ/m}^3)(0.85)} = 18 328 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$\begin{aligned}
\text{Para tasarrufu} &= (\text{Enerji tasarrufu})(\text{Enerjinin birim fiyatı}) \\
&= (18\,328 \text{ m}^3/\text{yıl})(0.52 \text{ TL/m}^3) \\
&= 9530 \text{ TL/yıl}
\end{aligned}$$

Bu metodun uygulanması için ısı eşanjörünün çıkışına bir hava kanalının yerleştirilmesi ve bina içine yönlendirilmesi gerekir. Bunun maliyeti düşüktür. Piyasada birleşik kompresör/ısı kazanım sistemi beraber bir sistem olarak hem hava soğutmalı (50 hp'den büyük) ve su soğutmalı (125 hp'den büyük) modeller için bulunmaktadır.

Kazanlarda çıkan egzoz gazlarının sıcaklığı genelde 150°C'nin üstündedir ve bir ısı geri kazanım sistemiyle egzoz gazlarının sahip olduğu ısının bir bölümü faydalı amaçlar için kullanılabilir.

6. Yakıtların karşılaştırılması

Sanayide buhar veya sıcak su ihtiyacını karşılamak için çeşitli yakıtları kullanan kazanlar kullanılır. Bu yakıtlar arasında yerli linyit ve ithal kömür, doğalgaz, ağır fuel-oil, hafif fuel-oil (kalorifer yakıtı), LPG (liquefied petroleum gas), motorin ve elektrik sayılabilir. Kazanların birbirine göre enerji tasarrufu potansiyelleri ve buna bağlı olarak ekonomiklikleri yakıtın birim fiyatına, yakıtın ısı değerine ve yakıtın yakıldığı kazanın verimine bağlıdır. Yakıt fiyatları çeşitli nedenlere bağlı olarak sürekli değiştiği için farklı yakıtları kullanan kazanların karşılaştırılması devamlı güncellenmelidir. Bu karşılaştırma yakıtların kazanda yandıktan sonra verdiği faydalı enerjinin birim maliyeti üzerinde yapılmalıdır.

Buhar üreten bir endüstriyel kazan için kazan verimi şu formülle hesaplanabilir:

$$\eta_{\text{kazan}} = \frac{\dot{Q}_{\text{faydalı}}}{\dot{Q}_{\text{giren}}} = \frac{\dot{m}_{\text{buhar}}(h_{\text{buhar}} - h_{\text{su}})}{\dot{m}_{\text{yakıt}}HV}$$

$\dot{Q}_{\text{faydalı}}$: Kazanda suya transfer edilen faydalı ısı

\dot{Q}_{giren} : Yakıtın yanmasıyla ortaya çıkan ısı

\dot{m}_{buhar} : Buharın debisi (kg/s)

$\dot{m}_{\text{yakıt}}$: Yakıtın debisi (kg/s)

h_{buhar} : Buharın kazandan çıkıştaki entalpisi (kJ/kg)

h_{su} : Suyun kazana girişteki entalpisi (kJ/kg)

HV: Yakıtın ısı değeri (kJ/kg). Alt ısı değerinin kullanılması tavsiye edilir.

Bir binanın ısıtılmasında kullanılan sıcak suyun üretildiği kazanın veya ev ölçeğindeki kombi kazanının verimi şu formülle hesaplanabilir:

$$\eta_{\text{kazan}} = \frac{\dot{Q}_{\text{faydalı}}}{\dot{Q}_{\text{giren}}} = \frac{\dot{m}_{\text{su}}(h_{\text{cikis}} - h_{\text{giris}})}{\dot{m}_{\text{yakıt}}HV} = \frac{\dot{m}_{\text{su}}c_p(T_{\text{cikis}} - T_{\text{giris}})}{\dot{m}_{\text{yakıt}}HV}$$

Yakıtlar karşılaştırılırken hepsi için aynı tür (üst ve ya alt ısı değeri) kullanılması gerekmektedir. Farklı yakıtlar için birim enerji maliyeti aşağıdaki formülle bulunabilir:

$$\text{Birim Enerji Maliyeti (BEM)} = \frac{\text{Birim fiyat}}{HV \times \eta_{\text{kazan}}}$$

Örnek 6 Yerli linyit kömürü, doğalgaz ve LPG'yi yakıt olarak kullanan üç endüstriyel kazanı dikkate alarak her bir yakıt için birim enerji maliyetini YTL/GJ olarak bulunuz. Her bir yakıt için aşağıdaki değerleri kullanınız:

Linyit kömürü: $HV = 23000$ kJ/kg, $\eta_{kazan} = 0.70$, Birim fiyat = 0.155 TL/kg

Doğalgaz: $HV = 34500$ kJ/m³, $\eta_{kazan} = 0.90$, Birim fiyat = 0.526 TL/m³

LPG: $HV = 46000$ kJ/kg, $\eta_{kazan} = 0.90$, Birim fiyat = 2.249 TL/kg

Çözüm Çeşitli yakıtlar için birim enerji maliyeti (BEM) TL/GJ biriminde aşağıdaki gibi bulunur:

$$BEM_{\text{komur}} = \frac{\text{Birim fiyat}}{HV \times \eta_{kazan}} = \frac{(0.155 \text{ TL/kg})}{(23000 \text{ kJ/kg})(0.70)} \left(\frac{10^6 \text{ kJ}}{1 \text{ GJ}} \right) = 9.63 \text{ TL/GJ}$$

$$BEM_{\text{dogalgaz}} = \frac{\text{Birim fiyat}}{HV \times \eta_{kazan}} = \frac{(0.526 \text{ TL/m}^3)}{(34500 \text{ kJ/m}^3)(0.90)} \left(\frac{10^6 \text{ kJ}}{1 \text{ GJ}} \right) = 16.9 \text{ TL/GJ}$$

$$BEM_{\text{LPG}} = \frac{\text{Birim fiyat}}{HV \times \eta_{kazan}} = \frac{(2.249 \text{ TL/kg})}{(46000 \text{ kJ/kg})(0.90)} \left(\frac{10^6 \text{ kJ}}{1 \text{ GJ}} \right) = 54.3 \text{ TL/GJ}$$

Farklı yakıtların birim enerji maliyetleri mevcut yakıt fiyatları kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Yakıtların birim enerji maliyetleri tablosu. Kaynak: www.igdas.com.tr

Yakıt	Alt Isıl Değeri (HV) (kJ/kg)	Birim Fiyatı (TL/kg)	Verim	Birim enerji maliyeti (TL/GJ)
Linyit (Soma)	23000	0.155	0.70	9.63
Dogalgaz (Konut)	34500 kJ/m ³	0.526 TL/m ³	0.9	16.9
Linyit (ithal)	25100	0.328	0.75	17.4
Fuel-Oil 4 (K. Yakıtı)	40600	1.263	0.8	38.9
Elektrik	-	0.128 TL/kWh	0.99	39.5
LPG Propan	46000	2.249	0.9	54.3
Motorin	42700	2.245	0.85	61.9

Örnek 7 Gaziantep'te bir sanayi tesisinde proses amaçlı olarak 2 milyon kcal/saat'lik fuel-oil yakıtlı bir kazan kullanılmaktadır. Fuel-oil'in ısı değeri 41000 kJ/kg, birim fiyatı 0.95 TL/kg ve kazanın verimi 0.78'dir. Bu kazanın doğalgaz yakıtlı bir kazanla değiştirilmesi durumunda elde edilecek yıllık para tasarrufu miktarını bulunuz. Doğalgazın ısı değeri 34500 kJ/m³, birim fiyatı 0.550 TL/m³ ve doğalgaz kazanının verimi 0.92'dir. Eğer doğalgaz kazanının fiyatı 750 000 TL ise bu yatırımın geri ödeme süresini bulunuz.

Çözüm Kazanın yılda 5000 saat çalıştığını varsayarsak, 2 milyon kcal/saat faydalı ısı vermek için bir yılda harcanması gereken yakıt miktarı (YM) şu şekilde bulunur:

$$YM_{\text{fuel-oil}} = \frac{\text{Faydalı ısı oranı} \times \text{Çalışma süresi}}{HV \times \eta_{kazan}} = \frac{(2 \times 10^6 \text{ kcal/saat})(5000 \text{ saat/yıl})}{(41000 \text{ kJ/kg})(0.78)} \left(\frac{4.184 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} \right) = 1308300 \text{ kg/yıl}$$

Bu yakıt miktarının yıllık parasal maliyeti (YPM) ise

$$YPM_{\text{fuel-oil}} = YM_{\text{fuel-oil}} \times \text{Birim Fiyat} = (1308300 \text{ kg/yıl})(0.95 \text{ TL/kg}) = 1242900 \text{ TL/yıl}$$

olarak bulunur. Aynı hesapları doğalgaz için tekrar edersek:

$$YM_{\text{dogalgaz}} = \frac{(2 \times 10^6 \text{ kcal/saat})(5000 \text{ saat/yıl})}{(34500 \text{ kJ/m}^3)(0.92)} \left(\frac{4.184 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} \right) = 1318200 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$YPM_{\text{dogalgaz}} = YM_{\text{dogalgaz}} \times \text{Birim Fiyat} = (1318200 \text{ m}^3/\text{yıl})(0.550 \text{ TL/m}^3) = 719600 \text{ TL/yıl}$$

Doğalgaz kazanının sağlayacağı yıllık tasarruf miktarı:

$$\begin{aligned}
\text{Para tasarrufu} &= \text{YPM}_{\text{fuel-oil}} - \text{YPM}_{\text{doğalgaz}} \\
&= 1\,242\,900 \text{ TL/yıl} - 719\,600 \text{ TL/yıl} \\
&= 523\,300 \text{ TL/yıl}
\end{aligned}$$

Kazanın değiştirilmesiyle elde edilecek bu tasarrufun doğalgaz kazanının fiyatını ne kadar sürede ödeyeceği aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\text{Geri Odeme Suresi} = \frac{\text{Kazan fiyatı}}{\text{Para tasarrufu}} = \frac{750\,000 \text{ TL}}{523\,300 \text{ TL/yıl}} = 1.43 \text{ yıl}$$

Yani doğalgaz kazanı kendisini yaklaşık 17 ayda amorti edecek ve sonrasında yıllık 523 300 TL tasarruf sağlayacaktır.

7. Kazanlarda verim artırılması

Çoğu endüstriyel tesiste enerjinin önemli miktardaki bölümünü kazanlar tüketmektedir. Bu nedenle kazanların çalışması optimize edilerek önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu sistemlerde yapılacak küçük iyileştirmelerin enerji tüketim ve enerji maliyetlerindeki azalmada önemli yansımaları olabilir.

Sabit bir kazan ısı çıkış oranı için, yanma veriminde olacak her % 1'lik bir artış, % 1'lik bir yakıt tasarrufu demektir. Dikkate değer miktarda bir enerji ve para tasarrufu hava-yakıt karışım oranını optimize ederek ve dolayısıyla kazan verimini artırarak sağlanabilir. Baca gazının bileşimi ve sıcaklığı, kazan veriminin tespitinde kullanılan göstergelerdir. Gaz analizörlerinin bir çoğu doğrudan kazan verimini göstermekle beraber baca gazlarının bileşim oranını ve yanma sıcaklığını da gösterir.

Bütün kazanlar kurulum aşamalarında belirli bir yanma (set-up) verimine sahiptirler. Ama belirli bir süre sonra yanma verimleri hesaplandığında, bu değer set-up verimlerinden düşük olduğu görülecektir. Bunun nedeni kayıplardır ve bu kayıplar azaltılarak tasarruf imkanları sağlanabilir. Kazanlarda baca gazı kaybı, tek kayıp değildir. Kazan yüzeylerinden de ısı kayıpları vardır (Tablo 5). Kazanın dış yüzey sıcaklığını ölçerek, yüzey kayıplarını hesaplayabiliriz. Baca gazı sıcaklığına bağlı olarak kayıplar Şekil 7'de verilmiştir.

Tablo 5. Fuel-oil kazanlarında yüzey kayıpları [13]

Kapasite (t/h)	Tam Yükte Kayıp %
1	1.9
2	1.5
4	1.1
8	0.7
10	0.6
15	0.5
20	0.3

Toplam kazan verimi baca gazı kaybı ve yüzey kaybı bilinirse kolayca hesaplanabilir:

$$\text{Kazan verimi (\%)} = 100 - (\text{baca gazı kaybı}) - (\text{yüzey kaybı}) - (\text{blöf kaybı})$$

Kazan verimini arttırmak için hava-yakıt karışım oranını optimize etmek; bacagazı kayıplarını ve yüzeyden konveksiyon ve radyasyon ile kaybedilen ısıyı azaltmak gerekir.

Kazanın işletilmesi sırasında kazan suyundaki safsızlıkların oranı artar. Buhar oluşumundan sonra kazanda oluşan partiküllerin buhar kalitesini bozmaması için belirli aralıklarla kazandan uzaklaştırılması gerekir. Bu işleme blöf denir [6]. Ayrıca, blöfün zamanında yapılması ile kazan yüzeyinde ısı transferini olumsuz etkileyen kirlilikler temizlenmiş olur. Blöf miktarının optimize edilmesi ve blöf periyotlarının gerekenden fazla olmaması yakıt tasarrufu açısından önemlidir. Örneğin 3.5 bar basınçta ve % 5 blöf durumunda % 1 yakıt kaybı meydana gelirken 14 bar ve % 10 blöf durumunda kayıp % 3'ü bulur.

Blöf elle veya otomatik olarak yapılabilir. Özellikle büyük kazanlarda blöfün otomatik yapılması gerekir. Kazanlarda optimum blöf miktarının belirlenebilmesi için kazanda izin verilen maksimum blöf sertlik değerinin bilinmesi gerekir. Bu değer için Tablo 6'da basınca göre verilen değer kullanılabilir. Bu durumda kazanlarda blöf miktarı Şu formülle bulunabilir:

$$\text{Blöf (\%)} = \frac{\text{Besleme suyu sertlik değeri}}{\text{Blöf sertlik değeri (TDS)} - \text{Besleme suyu sertlik değeri}} \times 100$$

Tablo 6. Kazanlarda basınca göre blöf sertlik değerleri [6]

Basınç (bar)	Blöf sertlik değeri, TDS (ppm)
0-20	3500
21-30	3000
31-40	2500
41-50	2000
51-60	1500
61-100	1000
101-133	750
134 ve yukarı	500

Kazanlarda otomatik blöf işlemi yapılıyorsa blöf enerjisinin bir flaş tankı (ısı geri kazanım sistemi) ile değerlendirilmesi gerekir. Blöfle alınan buhar ve kondensat karışımı flaş tankına girer. Tankta buhar yukarıdan alınırken aŐağıdan kondensat toplanır ve dışarıya alınır. Elde edilen flaş buharı ısı geri kazanımı için kullanılır. Bu ısı kazan girişinde havanın ön ısıtılmasında kullanılabileceği gibi işletmede mekan ısıtması, proses ısıtması gibi başka faydalı bir amaç için de kullanılabilir. Blöf işlemi periyodik olduğu için ısıtma gibi durumlarda alternatif bir kaynağın geri kazanım sistemine entegre olması gerekir.

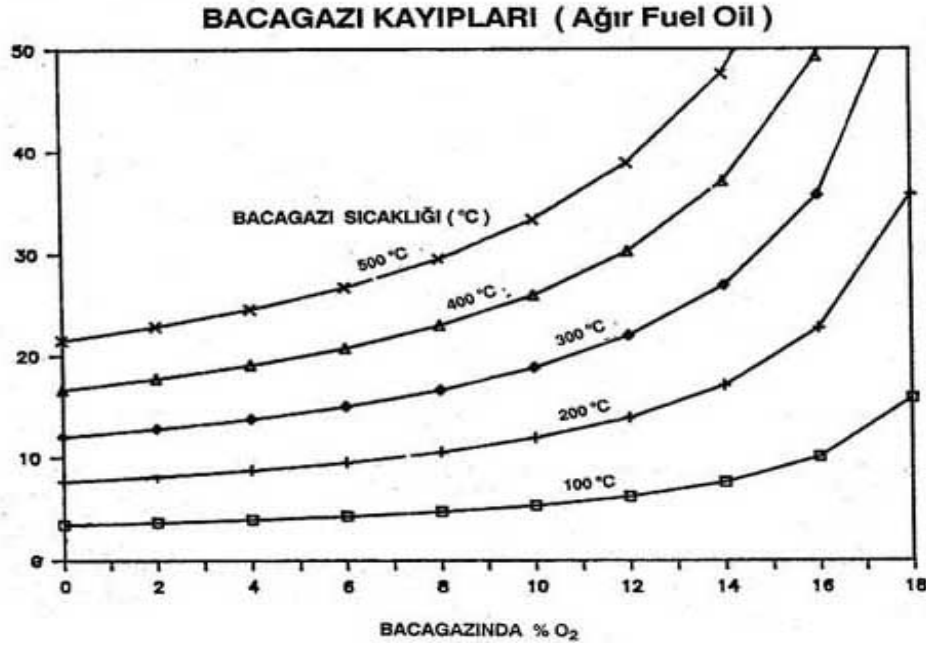
Bir kazanın veriminin arttırılması ile sağlanabilecek yakıt tasarrufu miktarı aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\text{Yakıt tasarrufu} = \frac{\text{Faydalı ısı oranı} \times \text{Çalışma süresi}}{\text{HV}} \left(\frac{1}{\eta_{\text{kazan,L}}} - \frac{1}{\eta_{\text{kazan,H}}} \right)$$

HV: Yakıtın ısı değeri

$\eta_{\text{kazan,L}}$ = Ayarlama öncesi sağlanan düşük yanma verimi

$\eta_{\text{kazan,H}}$ = Ayarlama sonrası sağlanan yüksek yanma verimi



Şekil 7. Kazanlarda baca gazı sıcaklığına ve oksijen miktarına bağlı olarak kayıplar [13]
(www.eie.gov.tr)

Örnek 8 Bir sanayi tesisinde 1 milyon kcal/saat'lik bir doğalgaz kazanının verimi başta % 90 iken zamanla bu verim % 85'e düşmüştür. Kazanın hava-yakıt oranının optimize edilmesi ile birlikte yüzey ısı kayıpları ve bacagazı kayıplarının azaltılması ile verimin tekrar % 90'a çıkarılması durumunda sağlanacak yıllık tasarruf miktarını bulunuz. Doğalgazın ısıl değeri 34500 kJ/m³ ve birim fiyatı 0.550 TL/m³'dür. Kazan, yılda 6500 saat çalışmaktadır.

Çözüm Bu kazanın veriminin yükseltilmesiyle sağlanacak yakıt tasarrufu:

$$\begin{aligned} \text{Yakıt tasarrufu} &= \frac{\text{Faydalı ısı oranı} \times \text{Çalışma süresi}}{HV} \left(\frac{1}{\eta_{\text{kazan,L}}} - \frac{1}{\eta_{\text{kazan,H}}} \right) \\ &= \frac{(1 \times 10^6 \text{ kcal/saat})(6500 \text{ saat/yıl})}{34500 \text{ kJ/m}^3} \left(\frac{4.184 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} \right) \left(\frac{1}{0.85} - \frac{1}{0.90} \right) \\ &= 51520 \text{ m}^3/\text{yıl} \end{aligned}$$

Bu yakıt tasarrufuyla sağlanacak parasal tasarruf:

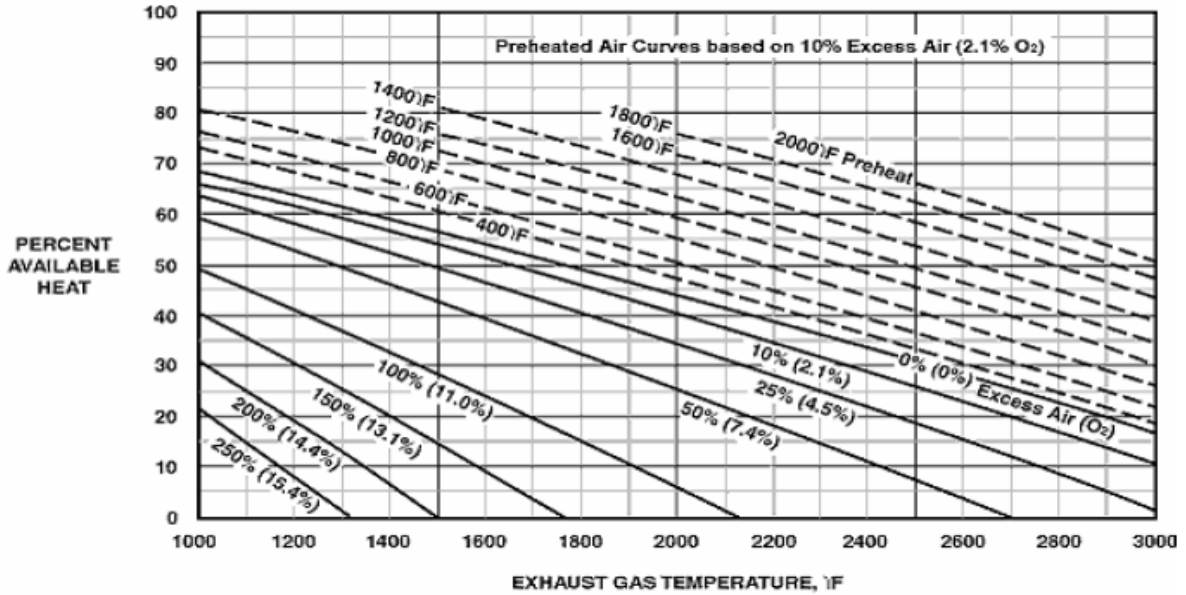
$$\begin{aligned} \text{Para tasarrufu} &= \text{Yakıt tasarrufu} \times \text{Yakıtın birim fiyatı} \\ &= (51520 \text{ m}^3/\text{yıl})(0.550 \text{ TL/m}^3) \\ &= 28340 \text{ TL/yıl} \end{aligned}$$

8. Kazanlarda hava-yakıt oranının optimize edilmesi

Kazanlarda hava-yakıt oranının periyodik olarak kontrol edilip modifiye edilmesi verimi arttırmanın en kolay yöntemlerinden biridir. Yüksek sıcaklıkta çalışan kazanların çoğu % 10 ile % 20 arasında bir fazla hava kullanırlar. Hava miktarının teorik miktardan çok fazla veya az olması verimi düşürür. Hava-yakıt oranı akış debilerinin ölçülmesiyle veya çıkan egzoz gazlarının analizi ile tespit edilebilir.

Şekil 8'de ölçülen mevcut egzoz gaz sıcaklığı (exhaust gas temperature) ve % hava fazlası (percent excess air) değerleri için % kullanılabilir ısı (percent available heat, % AH) değerleri mevcut ve istenen değerler için okunursa % yakıt tasarrufu şu formülle bulunur:

$$\% \text{ Yakıt Tasarrufu} = \left[\frac{\% \text{ AH}_{\text{istenen}} - \% \text{ AH}_{\text{mevcut}}}{\% \text{ AH}_{\text{istenen}}} \right] \times 100$$



Şekil 8. Egzoz gaz sıcaklığına (exhaust gas temperature) ve % fazla havaya (% excess air) bağlı olarak % kullanılabilir hava (percent available heat) [22].

Örnek 9 Bir sanayi tesisinde bulunan kazandan çıkan egzoz gazlarının sıcaklığı 815°C (1500°F) olarak ve % fazla hava % 50 olarak ölçülmüştür. % fazla havanın % 25'e çekilmesiyle sağlanacak % yakıt tasarrufunu bulunuz.

Çözüm Şekil 8'de 815°C egzoz sıcaklığı ve % 50 fazla hava durumunda %AH değeri % 43 olarak okunur. Aynı sıcaklıkta ve % 25 fazla hava durumunda %AH değeri % 50 olarak okunur Bu durumda sağlanabilecek yakıt tasarrufu:

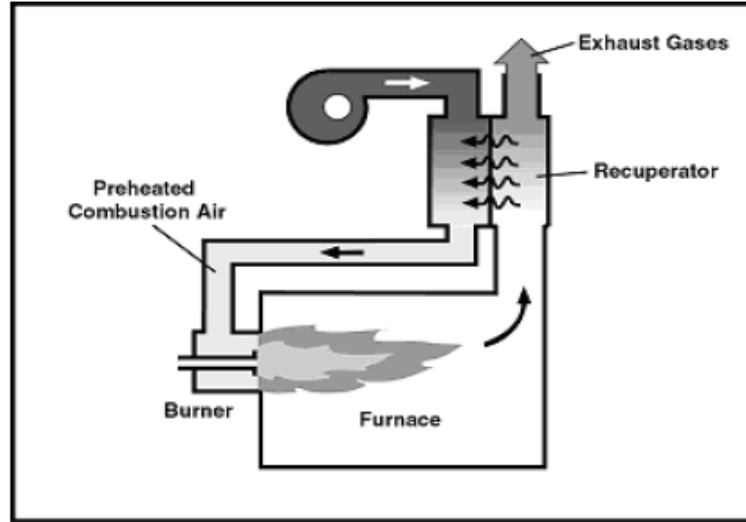
$$\% \text{ Yakıt Tasarrufu} = \left[\frac{\% \text{ AH}_{\text{istenen}} - \% \text{ AH}_{\text{mevcut}}}{\% \text{ AH}_{\text{istenen}}} \right] \times 100 = \left[\frac{50 - 43}{50} \right] \times 100 = \%14$$

9. Kazanlarda yakma havasının ısıtılması

İşletmelerde oluşan atık ısının değerlendirilebileceği bölgelerden bir tanesi de tesiste bulunan kazanlarda kullanılan yakma havasının ısıtılması olmalıdır. Bu enerjinin kaynağı olarak yüksek sıcaklıkta kazanı terk eden egzoz gazları kullanılır. Bir ısı eşanjörü baca sistemine veya çıkışına yerleştirilerek egzoz gazıyla giriş havası ısıtılır.

Yanma havasının her 28°C sıcaklık artışında yanma verimi de yaklaşık olarak % 1 oranında artmaktadır [6]. Yapılan bir çalışmada, bir tesiste atmosfere atılan üretim fazlası 14911 kg/saat debideki buharın (350 kPa basınç ve 155°C sıcaklığında), tesisteki fırınların yanma havasının ön ısıtılmasında kullanılması durumunda yıllık 1 milyon doların üstünde enerji tasarrufu sağlanacağı hesap edilmiştir. Bunun uygulanma maliyeti fazla olmadığı için geri ödeme süresi ise sadece bir ay olarak hesaplanmıştır [17, 18].

Şekil 9'da "Recuperator" olarak isimlendirilen ısı eşanjörünün çalışması gösterilmiştir. Tablo 7'de havanın ön ısıtılmasıyla sağlanabilecek % yakıt tasarrufları verilmiştir.



Şekil 9. "Rekuperator" ısı eşanjörünün çalışması.

Tablo 7. Havanın ısıtılmasıyla sağlanabilecek % yakıt tasarrufu [22]

% Yakıt tasarrufu						
Egzoz sıcaklığı (°C)	Hava ön ısıtma sıcaklığı, °C					
	315.5	426.6	537.7	648.8	759.9	871
537.7	13	18	-	-	-	-
648.8	14	19	23	-	-	-
759.9	15	20	24	28	-	-
871	17	22	26	30	34	-
982	18	24	28	33	37	-
1093	20	36	31	35	39	43
1204	23	29	34	39	43	47
1315.4	26	32	38	43	47	51

Kazan yakma havasının ön ısıtılması sonucunda sağlanacak verim artışı aşağıda eşitlik kullanılarak hesap edilebilir:

$$\eta_{kazan,H} = \eta_{kazan,L} + \Delta T / VK$$

$\eta_{kazan,L}$ = Isıtma öncesi sağlanan düşük yanma verimi

$\eta_{kazan,H}$ = Isıtma sonrası sağlanan yüksek yanma verimi

ΔT : Yanma havasının sıcaklığındaki artış

VK: Verim arttırma katsayısı. Bu değer 2800 alınabilir.

Kazana giren yakma havasının atık bir ısı kaynağı ile ısıtılması kazan veriminde artış sağlarken kazanda yakılacak yakıt miktarını sağlanan ısı geri kazanımı oranında azaltacaktır.

Örnek 10 Bir sanayi tesisinde 5 milyon kcal/saat'lik bir kömür kazanının verimi % 60 olarak tespit edilmiştir. Bu tesisin başka bir noktasında kullanıldıktan sonra atmosfere atılan 150°C sıcaklığında ve 15 000 kg/saat debide doymuş buharın kazana giren havayı ısıtmak için kullanılması düşünülmektedir. Hava mevcut şartlarda 25°C'de ve 16 kg/s debide kazana girmektedir. Havayı ısıtmak için bir ısı eşanjörü kullanılması ve havanın 120°C sıcaklığına ısıtılması hedeflenmektedir. Buharın yakma havasını ısıtması sonucunda elde edilebilecek yakıt ve para tasarrufunu bulunuz. Kömür, ithal olup ısı değeri 25100 kJ/kg ve birim fiyatı 0.328 TL/kg'dır. Kazan, yılda 7000 saat çalışmaktadır.

Çözüm Havanın ısıtılması sonucu elde edilecek ısı kazanımını aşağıdaki denklem yardımıyla bulabiliriz.

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{hava}} c_{\text{hava}} (T_{\text{hava, cikis}} - T_{\text{hava, giris}}) = (16 \text{ kg/s})(1 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C})(120 - 25)^\circ\text{C} = 1520 \text{ kJ/s}$$

Hava sıcaklığı 25°C'den 120°C'ye çıktığında kazan veriminin yeni değeri aşağıdaki gibi bulunur:

$$\eta_{\text{kazan,H}} = \eta_{\text{kazan,L}} + \Delta T/VK = 0.60 + (120 - 25)^\circ\text{C}/2800 = 0.634$$

Bu verim artışının yıllık yakıt tasarrufu karşılığı ise

$$\begin{aligned} \text{Yakıt tasarrufu} &= \frac{\text{Faydalı ısı oranı} \times \text{Çalışma süresi}}{HV} \left(\frac{1}{\eta_{\text{kazan,L}}} - \frac{1}{\eta_{\text{kazan,H}}} \right) \\ &= \frac{(5 \times 10^6 \text{ kcal/saat})(7000 \text{ saat/yıl})}{25100 \text{ kJ/kg}} \left(\frac{4.184 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} \right) \left(\frac{1}{0.60} - \frac{1}{0.634} \right) \\ &= 521500 \text{ kg/yıl} \end{aligned}$$

Kazana giren havanın ısıtılmasının sağlayacağı yakıt tasarrufu verim artışından ibaret değildir. Havanın ısıtılması sonucu kazanda harcanan yakıt miktarı da azalacaktır. Havanın ön ısıtılması sonucu kazana 10 400 kJ/s'lik bir ısı kazanımı sağlandığı göz önüne alınırsa, bu ısı kazanımının yakıt tasarrufu karşılığı aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$\begin{aligned} \text{Yakıt tasarrufu} &= \frac{\text{İsi kazanımı} \times \text{Çalışma süresi}}{HV} \\ &= \frac{(1520 \text{ kJ/s})(7000 \text{ saat/yıl} \times 3600 \text{ s/yıl})}{25100 \text{ kJ/kg}} \\ &= 1526100 \text{ kg/yıl} \end{aligned}$$

Hem verim artışından hem de kazanda ısı geri kazanımından kaynaklanan yakıt tasarrufunun toplamı:

$$\text{Toplam yakıt tasarrufu} = 521500 + 1526100 = 2047600 \text{ kg/yıl}$$

Bu yakıt tasarrufuyla sağlanacak parasal tasarruf:

$$\begin{aligned} \text{Para tasarrufu} &= \text{Toplam yakıt tasarrufu} \times \text{Yakıtın birim fiyatı} \\ &= (2047600 \text{ kg/yıl})(0.328 \text{ TL/kg}) \\ &= 671600 \text{ TL/yıl} \end{aligned}$$

10. Sıcak ve Soğuk Yüzeylerin Yalıtımı

Termal yalıtım, ekipman yada malzemeleri her şeyden önce "ısı kaybından" koruyan ve buna karşı bir direnç sağlayan malzemeler ve bileşimler olarak tanımlanabilir. Sistemle, çevre arasında olan sıcaklık farkı, sistemden ya da sisteme olan ısı akışının etkileyici, zorlayıcı kuvvetidir. Sıcaklık farkı ne kadar çok büyürse, ısı transfer oranı da o ölçüde artar. Biz iki sistem arasında meydana gelebilecek ısı akışını, akışın bulunduğu yola bariyerler (engel) koyarak yavaşlatabiliriz. Termal izolasyonlar bu nedenlerden dolayı sistemin dizaynında önemli bir rol oynarlar ve bütün enerji verimli sistem ve ekipmanların üretiminde dikkate alınırlar. Ayrıca yalıtım genellikle enerji tasarrufu çalışmalarında kullanılan önemli parametrelerden bir tanesidir.

Endüstriyel tesislerde ısı, doğal gaz, petrol veya kömür gibi yakıtların ısıtıcı ya da kazanlarda kullanılmasıyla üretilirler. Elektrik, bu tip sistemlerde birim maliyeti çok daha fazla olduğu için tercih edilmez. Yalıtım, ısı kaybı miktarını azalttığı için yakıt ve paradan tasarruf sağlar. Bu yüzden sisteme yapılan yalıtım kendisini sağladığı enerji tasarrufu ile çabucak amorti edecektir. Geniş bir çerçeveden bakacak olursak, yalıtımın enerji tüketimini azaltmakla çevreyi de koruduğu kolaylıkla görülür. Ayrıca

yalıtım, soğutma üniteleri, soğutma tırları ve havalandırma sistemleri gibi enerji girişi olan ve çevre sıcaklığından daha düşük sıcaklıklara sahip sistemlere uygulanarak da para ve enerji tasarrufu sağlar.

Aynı şartlarda kazanların sağladığı ısı miktarının azalması veya proses ekipmanlarının çalışma sıcaklıklarında meydana gelen azalma, sistemin izolasyonunda bir sorun olduğunun işaretleridir. Yalıtımın dış yüzeyinde oluşan sıcaklık artışı da bize yalıtımın etkinliğinin azaldığını göstermektedir. Genel bir kural olarak, çevre hava sıcaklığının 15°C üzerinde olan yalıtım sıcaklığı bize zarar görmüş ya da yetersiz yalıtımın olduğunu gösterir. Buna benzer bir kriter ise dokunamayacağınız kadar sıcak bir yüzeyin mutlaka yalıtılması gerektiğidir. Buradaki kritik soru yalıtımın, zarar gördüğünde veya değiştirilmesine karar verildiğinde mevcut yalıtımın üzerinde mi yapılacağı yoksa eskinin sökölüp yerine mi takılacağıdır. Eğer alan izin verirse, var olan yalıtımın üzerine ikinci bir tabaka olarak ama iyi bir şekil ve biçimde ikinci bir yalıtımın yapılması önerilir. Fakat yetersiz alanlarda özellikle yıpranmış ve zarar görmüş noktalarda eskinin sökölüp yerine yenisinin monte edilmesi gerekmektedir [3, 6].

Yüzey sıcaklıklarına göre tavsiye edilen yalıtım kalınlıkları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Düz yüzeyler için önerilen yalıtım kalınlıkları [19]

Yüzey Sıcaklığı	Yalıtım Kalınlığı
66°C	5.1 cm.
121°C	7.6 cm.
177°C	10.2 cm.
288°C	15.2 cm.
400°C	2.9 cm.
510°C	25.44 cm

Boruların izolasyonu için tavsiye edilen yalıtım kalınlıkları boru içinde akan akışkanın sıcaklığına göre Tablo 9’da verilmiştir. Bu tabloda tavsiye edilen rakamların düşüğü küçük çaplı borular, büyüğü ise büyük çaplı borular içindir.

Tablo 9. Borular için yalıtım kalınlıkları [19]

İşletme Sıcaklığı (°C)	Yalıtım Kalınlığı (cm)
66	1.25 – 2.5
121°C	2.5 – 5
177°C	3.75 – 7.5
232°C	5 – 11.25
288°C	6.25 – 13.75
343°C	7.5 – 15

Yalıtım gereken bir yüzeyden olan ısı transferi konveksiyon formülü yardımıyla hesaplanabilir:

$$\dot{Q} = hA(T_{\text{yuzey}} - T_{\text{hava}})$$

h : Birleşik konveksiyon ve radyasyon ısı transferi katsayısı. Bu değer normal oda şartlarında 10 ile 30 W/m².°C arasında alınabilir.

A : Yalıtılacak yüzeyin alanı

T_{yuzey} : Yalıtılması gereken yüzeyin sıcaklığı

T_{hava} : Ortamdaki hava sıcaklığı

Bir binanın duvarından veya çatısından olan ısı transferi aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\dot{Q} = UA(T_{ic\ hava} - T_{dis\ hava}) = \frac{T_{ic\ hava} - T_{dis\ hava}}{R_{toplam}}$$

U : Genel ısı transferi katsayısı ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

R_{toplam} : Duvarın toplam ısı direnci ($^\circ C/W$). $R_{toplam} = 1/(UA)$.

A : Duvarın yüzey alanı ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

Bir bina duvarına yalıtım uygulanarak U değerinin ve dolayısıyla ısı transferinin azalması sağlanır.

Yalıtımın yapılması ile elde edilecek yakıt tasarrufunu aşağıdaki denklemle bulabiliriz:

$$\text{Yakıt tasarrufu} = \frac{(Q_{yalıtimsız} - Q_{yalıtımlı}) \times \text{Calisma suresi}}{HV \times \eta_{kazan}}$$

$Q_{yalıtimsız}$: Yalıtımsız yüzeyden olan ısı transferi

$Q_{yalıtımlı}$: Yalıtımlı durumdaki ısı transferi

HV : Yakıtın ısı değeri

η_{kazan} : Isıyı sağlayan kazanın verimi

Örnek 11 Bir fabrika gezisinde içinde buhar geçen 12 cm çapındaki bir borunun 30 m uzunluğundaki bir bölümünün yeterince yalıtılmadığı ve dış yüzey sıcaklığının $75^\circ C$ olduğu gözlenmiştir. Bu sırada ortam sıcaklığı $15^\circ C$ olarak ölçülmüştür. Buhar, doğalgaz yakıtlı ve verimi % 85 olan bir kazandan elde edilmektedir. Doğalgazın ısı değeri 34500 kJ/m^3 ve birim fiyatı 0.550 TL/m^3 'dür. Bu şartların bir yılda yaklaşık 2500 saat geçerli olduğu tahmin edilmektedir. Boru yüzeyindeki bileşik konveksiyon/radyasyon ısı transferi katsayısı $25\text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$ alınabilir. Borunun yüzeyinin yalıtılması ve ısı kayıplarının % 90 azaltılması durumunda sağlanacak yıllık yakıt ve para tasarrufunu bulunuz.

Çözüm Yüzeyin toplam alanı ve yalıtımsız durumda boru yüzeyinden olan ısı kaybı:

$$A = \pi DL = \pi(0.12\text{ m})(30\text{ m}) = 11.31\text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{yalıtimsız} = hA(T_{yuzey} - T_{hava}) = (25\text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C)(11.31\text{ m}^2)(75 - 15)^\circ C = 16\,965\text{ W} = 16.965\text{ kJ/s}$$

Yalıtımla bu ısı kaybının % 90'ı engelleneceği için yeni ısı kaybı:

$$\dot{Q}_{yalıtımlı} = 0.10\dot{Q}_{yalıtimsız} = (0.10)(16.965\text{ kJ/s}) = 1.6965\text{ kJ/s}$$

Yakıt tasarrufu:

$$\begin{aligned} \text{Yakıt tasarrufu} &= \frac{(Q_{yalıtimsız} - Q_{yalıtımlı}) \times \text{Calisma suresi}}{HV \times \eta_{kazan}} \\ &= \frac{[(16.965 - 1.6965)\text{kJ/s}](2500\text{ saat/yil} \times 3600\text{ s/saat})}{(34500\text{ kJ/m}^3)(0.85)} \\ &= 4686\text{ m}^3/\text{yil} \end{aligned}$$

Bu yakıt tasarrufuyla sağlanacak parasal tasarruf:

$$\begin{aligned} \text{Para tasarrufu} &= \text{Yakıt tasarrufu} \times \text{Yakıtın birim fiyatı} \\ &= (4686\text{ m}^3/\text{yil})(0.550\text{ TL/m}^3) \\ &= 2577\text{ TL/yil} \end{aligned}$$

11. Yüksek Verimli Aydınlatma

Aydınlatma, insanların işlerini güvenli ve verimli bir şekilde yürütebilmeleri için hayati önem taşır. Enerji verimli lambalar kullanmak bu açıdan atılması gereken adımların başında gelmektedir. Enerji verimli lambalar kullanarak verimli bir aydınlatma elde edilir ve aydınlatma maliyetleri önemli miktarda azaltılır. Aydınlatma, ABD’de konutlarda kullanılan enerjinin % 7’sini, ticari binalarda ise % 25’ini oluşturmaktadır [13].

Tablo 10’da farklı aydınlatma sistemleri için verimler verilmiştir. Tabloda ampüllerin en az verime sahip olduğu belirtilmektedir. Bu yüzden bu tip lambalar aynı aydınlatma çıkışı için en çok enerjiyi tüketeceklerdir. Akkor flamanlı ampüllere göre; floresanlar yaklaşık % 50, kompakt floresanlar ise % 80 daha az enerji tüketmektedir. Aydınlatma uygulamalarında en büyük sorun, halkın bu konuda yeterince bilinçli olmaması ve verimli lambaların ilk yatırımının yüksek olmasıdır. Yapılan bir çalışmaya göre; 1 milyon hanedeki akkor flamanlı ampüllerden en çok kullanılan 2 adedinin kompakt flüoresan ile değiştirilmesiyle pik saatlerde ihtiyaç duyulan 160 MW gücündeki santral yatırımına gerek kalmayacaktır [3, 14].

Tablo 10. Farklı aydınlatma sistemlerinin özellikleri [3]

Aydınlatma Tipi	Uygulama alanı	Güç, W	Ömür, saat	Verim, lümen/W
Normal ampül	Ev, işyerleri	15-1000	1000	4-25
Halojen ampül	Vitrin aydınlatması	20-2000	2000-3000	20-25
Yaygın floresan	Ev, işyerleri	6-65	4000-7000	41-60
Kompakt floresan	Ev, işyeri	9-25	8000-10000	50-83
Metal Halide	Alışveriş merkezleri	400-2000	2000-6000	56-125
Yüksek basınçlı civa	Dışarı, ofis	50-1000	7000	40-60
Yüksek basınçlı sodyum	Dış aydınlatma	50-1000	6000	61-140
Düşük basınçlı sodyum	Dış aydınlatma	8-180	6000	100-183

Bir aydınlatma sistemi için aydınlatma maliyeti, yüksek verimli bir aydınlatma sonucu elde edilecek enerji ve para tasarrufu aşağıdaki formüllerle hesaplanır [3]:

$$\text{Aydınlatma Maliyeti} = \text{TKAG} \times \text{BF} \times \text{ÇS} \times \text{BM}$$

$$\text{Enerji Tasarrufu} = \text{Elektrik Tasarrufu} \times \text{BF} \times \text{ÇS}$$

$$\text{Para Tasarrufu} = \text{Enerji Tasarrufu} \times \text{BM}$$

TKAG: toplam kurulu aydınlatma gücü

BF: balast faktörü

ÇS: yıllık çalışma saati

BM: elektrik birim fiyatı

Örnek 12 75 watt'lık bir ampül ile 12 watt'lık kompakt bir floresan bir lamba aynı miktarda aydınlatma sağlamaktadır. Ampülün fiyatı 0.5 TL ve ömrü 1000 saat, floresan lambanın fiyatı 5 TL ve ömrü 10 000 saattir. Elektrik birim fiyatını 0.22 TL/kWh olarak bu iki aydınlatma sisteminin 10 000 saatlik bir aydınlatma için toplam maliyetlerini karşılaştırınız.

Çözüm Ampül ve floresan lambanın ilk alım ve elektrik harcaması maliyetlerini bir tablo yardımıyla karşılaştıracamız:

	Akkor flamanlı lamba	Kompakt floresan
Lambaların alım maliyeti		
Bir lambanın ömrü (saat)	1000	10 000
Lamba fiyatı (TL)	0.5	5
10 000 saat aydınlatma için alınacak lamba sayısı	10	1
Lambaların toplam maliyeti	10 × 0.5 TL = 5 TL	1 × 5 TL = 5 TL
Enerji maliyeti		
Denk aydınlatma gücü (W)	75	12
10 000 saat aydınlatma için harcanacak elektrik miktarı	75 W × 10 000 h = 750 000 Wh = 750 kWh	12 W × 10 000 h = 120 000 Wh = 120 kWh
Aydınlatma maliyeti	750 kWh × 0.22 TL/kWh = 165 TL	120 kWh × 0.22 TL/kWh = 26 TL
Toplam Maliyet (TL)	5 + 165 = 170 TL	5 + 26 = 31 TL

12. Pencereelerde Yansıtıcı Filmlerin Kullanılması

Yaz aylarında klima ile soğutma maliyetini azaltmak üzere pencereleri yansıtıcı film ile kaplamak, güneş ısısının içeri girerek soğutma yükünü arttırmasını engellediği için önemli oranda elektrik tasarrufu sağlar. Bu uygulama yazın soğutma maliyetini azaltırken kışın ısıtma maliyetini arttırır. Camdan geçerek içeriye giren toplam güneş ısısı şöyle bulunur:

$$Q_{\text{güneş,kazanım}} = \text{SHGC} \times A_{\text{cam}} \times Q_{\text{güneş,ısısı}}$$

SHGC: Güneş ısı kazanım katsayısı (Solar heat gain coefficient). Bu değer 3-mm kalınlığındaki normal cam için 0.87'dir.

A_{cam} : Camın yüzey alanı

$Q_{\text{güneş,ısısı}}$: Birim yüzeye gelen güneş ısısı

Soğutma yükündeki düşüş ve ısıtma yükündeki artış aşağıdaki formüllerle hesaplanır:

$$\text{Soğutma yük azalışı} = Q_{\text{güneş,yaz}} A_{\text{cam}} (\text{SHGC}_{\text{filmsiz}} - \text{SHGC}_{\text{filmlı}})$$

$$\text{Isıtma yük artışı} = Q_{\text{güneş,kış}} A_{\text{cam}} (\text{SHGC}_{\text{filmsiz}} - \text{SHGC}_{\text{filmlı}})$$

Soğumadaki maliyet azalış ve ısınmadaki maliyet artışı şöyle hesaplanabilir:

$$\text{Soğumadaki maliyet azalışı} = (\text{Soğumadaki yük azalışı}) (\text{Elektriğin birim fiyatı}) / \text{COP}$$

$$\text{Isınmadaki maliyet artışı} = (\text{Isınma yük artışı}) (\text{Elektriğin birim maliyeti}) / \text{Kazan verim}$$

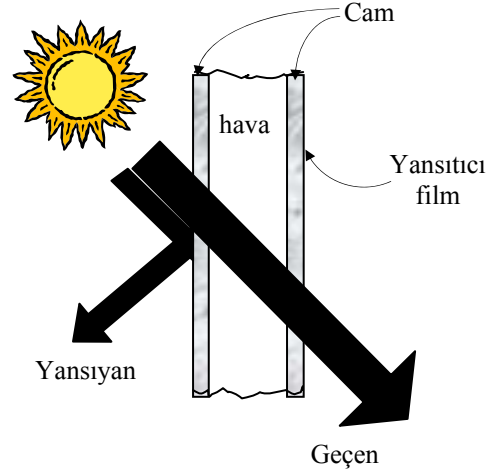
Burada COP klimanın soğutma etkenlik katsayısıdır. Net maliyet tasarrufu ise

$$\text{Maliyet tasarrufu} = \text{Soğumadaki maliyet azalışı} - \text{Isınmadaki maliyet artışı}$$

şeklinde bulunur. Yansıtıcı filmlerin uygulanabilmesi için net maliyet tasarrufunun pozitif olması ve geri ödeme süresinin uzun olmaması gerekmektedir.

Örnek 13 Bir ticari binanın toplam 4000 m² cam yüzeyi çift katlı standart camdan yapılmıştır (SHGC = 0.766). Yaz aylarında soğutma yükünü azaltmak için camlara yansıtıcı film kaplanarak SHGC 0.25'ye düşürülecektir. Yılım 12 ayında gelen güneş enerjisi birim yüzey ve birim gün için aşağıdaki tabloda verilmiştir. Elektrik ve doğal gazın birim fiyatı 0.22 TL/kWh ve 0.55 TL/m³ tür. Soğutma sisteminin COP'si 2.0 ve doğal gaz kazanının verimi % 85'tir. Yansıtıcı film kullanmanın sağlayacağı yıllık para tasarrufunu bulunuz. Ayrıca yansıtıcı film maliyeti 50 TL/m² ise geri ödeme zamanının bulunuz.

Ay	Birim yüzeye gelen güneş ısı, W/(gün-m ²)
Ocak	1500
Şubat	1650
Mart	2430
Nisan	2800
Mayıs	4300
Haziran	5100
Temmuz	4950
Ağustos	3950
Eylül	3600
Ekim	2700
Kasım	1900
Aralık	1400



Çözüm

$$Q_{\text{güneş yaz}} = 5.10 \times 30 + 4.95 \times 31 + 3.95 \times 31 + 3.60 \times 30 = 536.9 \text{ kWh/yıl-m}^2$$

$$Q_{\text{güneş, kış}} = 1.5 \times 31 + 1.65 \times 28 + 2.43 \times 31 + 2.80 \times 30 + 2.70 \times 31 + 1.90 \times 30 + 1.40 \times 31 = 436.1 \text{ kWh/yıl-m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Soğutma yükünde azalma} &= Q_{\text{güneş yaz}} A_{\text{cam}} (\text{SHGC}_{\text{film yok}} - \text{SHGC}_{\text{film}}) \\ &= (536.9 \text{ kWh/yıl})(4000 \text{ m}^2)(0.766-0.25) \\ &= 1\,108\,160 \text{ kWh/yıl} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Isıtma yükünde artış} &= Q_{\text{güneş kış}} A_{\text{cam}} (\text{SHGC}_{\text{film yok}} - \text{SHGC}_{\text{film}}) \\ &= (436.1 \text{ kWh/yıl})(4000 \text{ m}^2)(0.766-0.25) \\ &= 900\,110 \text{ kWh/yıl} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Soğutma maliyetinde düşme} &= (\text{Soğutma yükünde azalma})(\text{Birim fiyat})/\text{COP} \\ &= (1,108,160 \text{ kWh/yıl})(0.22 \text{ TL/kWh})/2.0 = 121\,900 \text{ TL} \end{aligned}$$

$$\text{Yakıt artışı} = \frac{\text{Isı yük artışı}}{\text{HV} \times \eta_{\text{kazan}}} = \frac{900\,110 \text{ kWh}}{(34500 \text{ kJ/m}^3)(0.85)} \left(\frac{3600 \text{ kJ}}{1 \text{ kWh}} \right) = 110\,500 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$\begin{aligned} \text{Isıtma maliyetinde artış} &= (\text{Yakıt artışı})(\text{yakıt birim fiyatı}) \\ &= (110\,500 \text{ m}^3)(0.55 \text{ TL/m}^3) \\ &= 60\,775 \text{ TL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Para tasarrufu} &= \text{Soğutma maliyetinde düşme} - \text{Isıtma maliyetinde artış} \\ &= 121\,900 - 60\,775 \\ &= \mathbf{61\,125 \text{ TL}} \end{aligned}$$

$$\text{Uygulama maliyeti} = (50 \text{ TL/m}^2)(4000 \text{ m}^2) = 200\,000 \text{ TL}$$

$$\text{Geri ödeme süresi} = \frac{\text{Uygulama maliyeti}}{\text{Para tasarrufu}} = \frac{200\,000 \text{ TL}}{61\,125/\text{yıl}} = \mathbf{3.27 \text{ yıl}}$$

13. Diğer Tasarruf Yöntemleri

13-1 Hareket Sensörleri

Endüstriyel tesislerde, soyunma odaları ve depolama sahaları gibi bazı bölgeler üretim esnasında kullanımı çok az olan bölgelerdir. Çoğunlukla bu bölgelerde kimse olmadığı zamanlarda içerideki aydınlatmalar da açık kalmakta ve ciddi miktarda enerji kaybına sebep olmaktadır. Bu kayıp ya bölgelerden ayrılırken iyi bir kapatma alışkanlığına sahip olmakla ya da bu sahalar hareket duyarlı sensörler yerleştirmekle önlenir. Bu tip sensörler genellikle girişlere ve duvar üzerlerine yerleştirilir. Kapı etrafında herhangi bir hareket meydana geldiğinde lambalar otomatik olarak açılacak, kullanıcı tarafından set edilen zaman dolduğunda ise lambalar kapanacaktır. Bu şekilde sağlanan enerji tasarrufu aşağıdaki şekilde bulunabilir [3].

$$\text{Enerji Tasarrufu (kWh)} = \text{Toplam lamba kurulu gücü (kW)} \times \text{Çalışma zamanındaki azalma (saat)}$$

13-2 Programlanabilir Termostatlar

Endüstriyel tesislerin çoğunda, üretim sahalarında veya ofislerde iklimlendirme amaçlı ünitelerin üzerinde termostatlar kullanılır. Bu termostatlar genellikle set edildikleri değerde kalmakta ve hatta unutulmaktadır. Sonuç olarak, bu üniteler geceleri ve hafta sonları gibi periyotlarda içeride kimse olmamasına rağmen çalışmakta ve önemli miktarda enerji kaybolmaktadır. Bazen akşamları ve hafta sonları ısıtma ve soğutma ünitelerinin kapatılmasıyla bu mekânların konforu önemli miktarda azalmakta ve ertesi gün sabah veya hafta başı insanların çalışma performansı üniteler çalışıp konfor şartları tekrar sağlanıncaya kadar kötü bir biçimde etkilenmektedir. Bu tip problemler bu ünitelere sıcaklığı otomatik olarak düşüren veya yükselten, gerektiğinde sistemi kapatabilen programlanabilir termostatlar eklenerek aşılabılır.

Elde edilecek enerji tasarrufunu tahmin edebilmemiz için, çalışma saatleri haricinde programlanabilir termostat yardımıyla sağlanabilecek enerji tasarrufu oranının (f_{tasarruf}) tahmin edilmesi gerekir. Bu oran tespit edildiğinde programlanabilir termostatların yerleştirilmesi ile elde edilecek enerji tasarrufu aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir [3].

$$\text{Enerji tasarrufu} = f_{\text{tasarruf}} \times \text{Yıllık enerji kullanımı}$$

13-3 Ekipmanların Çalışmadığı Zamanlarda Kapatılması

Yapılan enerji tasarrufu çalışmalarında tespiti yapılan ve bu esnada göze en çok çarpan noktalardan bir tanesi de enerji tüketen bazı ekipmanların yükte olmadığı zamanlarda da çalıştırıldığıdır. Bu tür ekipmanların mümkünse tam yükte çalıştırılması ve kullanılmadığı zamanlarda kapatılması tesise büyük miktarda tasarruf sağlar. Mesela, vidalı kompresörler, stand-by modunda nominal güçlerinin % 85'ine kadar olan bir oranını harcayabilirler. Ekipman, elle kapatılabileceği gibi zamanlı bir açma kapatma sistemi tavsiye edilmektedir.

13-4 Standart V Kayışların Yüksek Verimli Olanlar ile Değiştirilmesi

Kayış-kasnak sisteminde meydana gelen ısınmanın azaltılması ve sistemde meydana gelebilecek kaymaların azaltılması amacı ile endüstriyel tesislerde V kayışları kullanılmaya başlanmıştır. Bu tip kayışlar tesise önemli miktarda enerji tasarrufu sağlamaktadır. Sadece V kayışlarına geçilmesi ile sağlanan verim artışı % 2 ile % 4 arasında kalırken, sistemde yüksek verimli V kayışlarının kullanılması ile sağlanan verim artışı % 2 ve % 8 arasında değişmektedir [6].

13-5 Termostat sıcaklığını değiştirmek

Endüstriyel tesislerde insanların çalıştığı mekanların kış aylarında ısıtılması sırasında termostat sıcaklığını düşürmek ve yaz aylarında klima ile soğutma yapılırken termostat sıcaklığını arttırmak ısınma ve soğutma enerji maliyetinde önemli azalmalar sağlar. Termostat ayarlarının ortamda bulunanların termal konfor açısından rahatsız olmayacakları ölçüde değiştirilmesi iş performanslarının düşmemesi açısından son derece önemlidir.

Tablo 11’de termostat ayarının kış aylarında azaltılmasıyla sağlanabilecek tasarruf oranları verilmiştir.

Yaz ayında termostat sıcaklığını 2.2°C yükseltmekle % 18 - % 32 enerji tasarrufu sağlanabilir. Güneş ışığının yazın pencerelerden içeriye girmesi engellenerek % 25’e varan tasarruf sağlanırken çatıda havalandırma yapılarak % 9 tasarruf sağlanabilir [20]

Tablo 11. Her gece 14 saat ve tüm hafta sonunda termostat sıcaklığının düşürülmesiyle sağlanabilecek tasarruf oranları. Kaynak: National National Frozen Food Association/U.S. Department of Energy, “Reducing Energy Costs Means a Better Bottom Line”

°C gün	Termostat sıcaklığındaki azaltma miktarı			
	2.8°C	5.6°C	8.4°C	11.2°C
550	%13	%25	%38	%50
1100	12	24	36	48
1650	11	22	33	44
2200	10	20	30	40
2750	9	19	28	38
3300	8	16	24	32
3850	7	15	22	30
4400	7	13	19	26
4950	6	11	16	22
5500	5	9	14	18

13-6 Kapasite Kontrollü Yüksek Verimli Kompresör Kullanımı

Özellikle vidalı kompresörlerde, sisteme bağlanmış olan bir basınç sensörü yardımıyla basınç sürekli olarak ölçülür ve ana motora bağlı olan motor kontrol cihazına analog bilgileri gönderir. Motor kontrol cihazı sahip olduğu özel yazılımı ile bu bilgileri değerlendirip, basıncı sabit tutacak şekilde motorun devri ile oynayarak kapasiteyi sürekli değiştirip kompresör ana motorunun optimumda çalışmasını sağlar ve enerji tasarrufunu maksimize eder. Boşta çalışmada enerji tüketimi azalır. Kompresör kapasite kontrolünün % 10 - % 40 enerji tasarrufu sağladığı ve geri ödeme süresinin 4 ile 7 ay arasında değiştiği belirtilmektedir (Kaynak: Emti Enerji Yönetimi ve Tasarrufu Sistemleri).

13-7 Vanalarda Yalıtım Ceketleri Kullanılması

Sıcak ve soğuk boru hatları genelde yalıtılırken vanalar ihmal edilmektedir. Sıcak boru hatları üzerindeki vana ve pislik tutucularda oluşan ısı kayıplarını en aza indirmek, soğutma hatlarında ise ısınmayı ve yoğuşmayı önlemek için; yanmaz cam elyaf kumaş veya seramik kumaş arası taşıyıcı, seramik yünü veya kauçuk izolasyon malzemelerinden imal edilen yalıtım ceketleri kullanılır. Yalıtım ceketleri kullanılarak ısıtma uygulamalarında yakıt tasarrufu sağlanırken soğutmada enerji tüketimi azaltılır (Kaynak: Emti Enerji Yönetimi ve Tasarrufu Sistemleri).

Tablo 12. Yalıtım ceketleri uygulamalarında kullanılan yalıtım malzemeleri için kullanım sıcaklıkları ve tavsiye edilen izolasyon kalınlıkları [21].

İzolasyon malzemesi	Kullanım Sıcaklığı	İzolasyon Kalınlığı
Rabitz teline dikili taş yünü sanayi şiltesi	700°C	40 mm
Seramik elyaf battaniye	1260°C	25 mm
Elastomerik kauçuk köpüğü	- 40/105 °C	19 mm

13-8 Tekstil atık suyu ısı geri kazanımı

Tekstil fabrikalarında prosesten çıkan sıcak atık suyun enerjisi kullanılarak temiz su ısıtılarak ciddi bir tasarruf sağlanabilir. Soğuk temiz su, ısı geri kazanım sistemi sayesinde, atık suyun

başlangıçtaki sıcaklığına yakın (6-7°C) bir değere kadar ısıtılır. Eşanjörde soğutulan atık su arıtma tesisine gönderilir. Isı geri kazanım sisteminde geniş plaka aralıklı ve serbest akışlı (freeflow/easyflow) plakalı ısı eşanjörü kullanılmaktadır. Sıcak kirli sudan ısı geri kazanım sisteminin yatırım maliyetleri düşük ve son derece karlı bir yatırım olduğu ve yatırımın geri ödemesinin 4-8 ay olduğu belirtilmektedir [21].

13-9 Soğutma Sistemlerinde Enerji Tasarrufu

- a. Soğutulan bölgelerin sıcaklığı gerekli olan derecenin altında tutulmamalıdır. Bir soğuk deponun sıcaklığını 1°C arttırmakla % 2-4 enerji tasarrufu sağlanabilir.
- b. Soğutma deposunda birden fazla ürün varsa ve ürünlerin sıcaklık ihtiyaçı farklı ise her ürün ayrı depoda ve kendi sıcaklık ihtiyaçına göre depolanmalıdır. rnlerin aynı depoda en düşük sıcaklık ihtiyaçı olan ürün sıcaklığında muhafazası enerji tüketimini arttıracaktır.
- c. Soğutulacak rn soğutma bölgesine girmeden önce mümkün olan en düşük sıcaklıkta olmalıdır. Eğer mümkünse atmosfer havası veya su ile n soğutma yapılmalıdır.
- d. Soğutma depolarının kapılarının açıldığı süre minimumda tutulmalıdır.
- e. Depo çevresinde bulunan izolasyon ve kapı etrafı sızdırmazlık elemanları tamir edilmelidir.
- f. Soğutma deposu içinde olan ve ısı yayan aydınlatma, fan ve pompa gibi cihazlar mümkünse depo dışına alınmalı veya bu cihazlar yüksek verimli olanlarla değiştirilmelidir.
- g. Buz eritme sisteminin gereğinden uzun süre çalışması engellenmelidir.
- h. Fanın soğutma ihtiyaçına uygun olduğu kontrol edilmeli ve gereğinden büyük bir kapasitede fan kullanılmamalıdır.
- i. Sızıntılar tespit edilip tamir edilmelidir.
- j. Havanın kondenser çevresinde rahat hareket etmesini sağlayın. Kondenser duvara yakın olmamalı ve direk güneş işığı almamalıdır.
- k. Soğutma deposunda birden fazla ürün varsa ve ürünlerin sıcaklık ihtiyaçı farklı ise her ürün ayrı depoda ve kendi sıcaklık ihtiyaçına göre depolanmalıdır. rnlerin aynı depoda en düşük sıcaklık ihtiyaçı olan ürün sıcaklığında muhafazası enerji tüketimini arttıracaktır.

13-10 Fan Sistemlerinde Enerji Tasarrufu

- a. Yüksek verimli bir fan seçin.
- b. Filtreleri temiz tutarak basınç düşümlerini minimize edin.
- c. Kanatları düzenli olarak temizleyin.
- d. Kanallardaki gereksiz basınç düşümlerini minimize edin.
- e. Fanın bir kontrol sistemi yardımıyla sadece gerektiğinde çalışmasını sağlayın.
- f. Birden fazla fanın olduğu durumda ihtiyaca uygun fanla çalışmak için bir fandan diğerine geçin.

13-11 Pompa Sistemlerinde Enerji Tasarrufu

- a. Yüksek verimli bir pompa seçin ve pompanın tasarlandığı güce ve head'e yakın bir noktada çalıştırın.
- b. Eğer pompayı hep kısmi yükte alıştırıyorsanız, daha küçük bir pompa kullanın veya mevcut pompanın kapasitesini düşürecek değişiklikler yapın.
- c. Paralel bağlı pompalara dikkat edin. Daha fazla pompa eklemek sistemin bütününün verimini düşürebilir.
- d. Borulardaki kayıpları azaltmak için keskin köşeleri minimize edin.

- e. Yeni boruları düşük sirtünme katsayısı olanlardan seçin ve mevcut boruların sirtünmesini azaltmaya çalışın.
- f. Pompa giriş basıncının yeterli olduğundan ve gereken değerin üzerinde olmadığından emin olun.
- g. Pompanın bakımını yapın. Bakımı yapılmayan bir pompanın verimi % 10 düşebilir.
- h. Büyük kapasitede pompalar için pompanın durumunu gösteren bir gözlem sistemi kurun ve pompanın yenilenmesi için gerekli optimum süreyi hesaplayın.

Sonuç

Endüstriyel tesislerde uygulanabilecek enerji tasarrufu yöntemleri, bilimsel olarak gerçekliği tamamen ortaya konmuş uygulamalardır. Bu konuya sanayi işletme yöneticilerinin önem vermesi ve mühendislerin tasarruf metotlarını öğrenip uygulamaları enerji tüketimlerinde önemli azalmalar sağlayacaktır. Enerji tasarrufu sayesinde daha az fosil yakıt yakılması sonucu istenmeyen emisyonlar azalacak ve karbon emisyonunun neden olduğu küresel ısınma etkileri azalacaktır. Ayrıca, enerji tasarrufu ve verimliliği ülkemizin yapması gereken ve çok yüksek yatırım gerektiren yeni enerji yatırımlarının getireceği yükü azaltacaktır.

Kaynaklar

- [1] Çengel Y. A., Boles M.A., 2007. Thermodynamics: An Engineering Approach, 6th Edition, McGraw-Hill, New York.
- [2] Çengel Y. A., 2007, Heat Transfer: A Practical Approach, 3rd Edition, McGraw-Hill, New York.
- [3] Çengel Y. A. Çerçi Y., Turner, R.H, 1998, ASME Advanced Energy Systems Division, Some Simple and Economical Ways of Savings Energy in Industrial Facilities.
- [4] Çerçi Y., Çengel Y.A., Turner R.H., 1995. Reducing the Cost of Compressed Air in Industrial Facilities. Thermodynamics and the Design, Analysis, and Improvement of Energy Systems, ASME, AES, 35:175-186.
- [5] Çengel Y. A., Çerçi Y., 2000. Opportunities To Save Energy in Industry, 12. Turkish National Conference on Thermal Sciences and Technologies with International Participation, Conference Proceeding, Sakarya, Turkey, 2:392-399.
- [6] Sanayide Enerji Yönetimi, 1997. Cilt I, III, EİEİ/UETM, Ankara
- [7] Kaya D., Saraç H. I., Olgun H., 2001. Energy Saving in Compressed Air Systems.
- [8] Motor Master Database, 1993. Washington State Energy Office, WA.
- [9] Barber A.,1989. Pneumatic Handbook, 7th ed., Trade and Technical Pres.
- [10] Nadel S., Shepard M., Grenberg S., Katz G., Almeida A. 1991. Energy Efficient Motor Systems: A Handbook on Technology, Program, and Policy Opportunities. Washington D.C., American Council for Energy-Efficient Economy.
- [11] Talbott E. M., 1993. Compressed Air Systems: A Guidebook On Energy and Cost Savings, Second Edition, The Fairmont Press, Inc., Liburn, GA 00247.
- [12] Birinci Hidrolik Pnömatik Kongresi, Bildiriler Kitabı, 1999.
- [13] EİEİ, Sanayide Enerji Verimliliği Şubesi, Teknik Bilgi Servisi, www.eie.gov.tr.
- [14] Aydınlatmada Enerji Verimliliği Bilgi Notu.
- [15] Holdsworth J., 1997. Conserving Energy in Compressed Air Systems, Plant Engineering, 51 (13):103-104.
- [16] Tarell R. E., 1999. Improving Compressed Air System Efficiency. Know What You Really Need, Energy Engineering, (96)1, 7-15.
- [17] Kaya D. , 1996. Tüpraş İzmit Rafinerisi Proses Atık Buharı Isı Enerjisinin Geri Kazanılmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.

- [18] Saraç H. İ., Kaya D., Sözbir N., Çallı İ., 1997. Tüpraş İzmit Rafinerisi Proses Atık Buharı Isı Enerjisinin Geri Kazanılmasının Araştırılması, Beşinci Yanma Sempozyumu, Kirazlıyayla, Bursa, Türkiye.
- [19] Thermal Insulation Manufacturers Association.
- [20] ASHRAE Handbook of Fundamentals, 2006.
- [21] Emti Enerji Yönetimi ve Tasarrufu Sistemleri.
- [22] Combustion Technology Manual. Industrial Heating Equipment Association.

Teşekkür: Bu çalışmanın hazırlanmasında katkılarından dolayı sayın hocam Prof. Dr. Yunus Çengel'e ve makina mühendisleri İlker Karabay, M. İlkin Kekeç ve M. Fatih Orhan'a teşekkür ederim.