

SANAYİDE ENERJİ TASARRUF POTANSİYELİ-II

Durmuş KAYA * , Cengiz GÜNGÖR **

Bir önceki çalışmada sanayi tesislerinde tasarruf edilebilecek enerji miktarı ile bunun mali değerinin hesabı için gerekli prosedürlerden; yüksek verimli motor kullanılması, basınçlı hava sistemlerinde düşük basınçlı hava kullanılması, basınçlı hava sistemindeki kaçakların önlenmesi ve kompresör emiş havasının dış ortamdan alınması durumlarında elde edilebilecek tasarruf imkanları araştırılmıştı. Çalışmanın bu bölümünde ele alınan başlıca tasarruf imkanları ise: (1) yakma havasının ısıtılması, (2) kirlenmiş akışkandan ısı geri kazanımı, (3) sıcak ve soğuk yüzeylerin izolasyonu, (4) boşta çalışma süresinin azaltılması, (5) standart V-kayışları yüksek verimli olanlar ile değiştirilmesidir. Her bir tasarruf potansiyeli için; Türkiye'nin değişik illerinde ve ABD'nin Arizona ve Nevada eyaletlerindeki farklı sanayi tesislerinde gerçekleştirilmiş enerji tasarrufu çalışmalarından örnekler verilmiştir. Bu örneklerde tasarruf miktarı, tasarrufun mali karşılığı, yatırım tutarı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

Anahtar sözcükler : Enerji tasarrufu; enerji etüdü; yakma havasının ısıtılması, izolasyon, yüksek verimli kayış, boşta çalışma, ısı geri kazanımı.

The energy saving methods that we investigated in the previous study were: installing high efficiency motors, repairing air leaks, using low pressure air for the compressed air systems and providing the compressor inlet air from outside. These methods are used to evaluate the energy amount that can be saved in the industrial plants and its financial value. In this study, the energy saving methods that we investigate are: (1) preheating the combustion air, (2) recovering the heat from the waste fluid, (3) insulating hot and cold surfaces, (4) reducing the unload time, (5) changing the standard V-type belts with high efficiency belts. For each method, examples are given from different cities of Turkey and from Arizona and Nevada in USA. In these examples, the amount of the saved energy, financial evaluation of this energy, investment cost and pay back period are calculated.

Keywords: Energy saving; energy audit; preheating the combustion air, insulation, high efficiency belt, unload work, recovery the heat

* Dr. TÜBİTAK - MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Arş. Ens.

** Mak. Yük. Müh., MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü

GİRİŞ

Türkiye, kalkınmakta olan ve nüfusu artan bir ülke olması nedeniyle enerji tüketimi hızla artmaktadır. Üretilen enerjinin ise yaklaşık üçte biri sanayide tüketilmektedir. Bu enerjinin önemli bir miktarı pratik bazı enerji tasarruf önlemleriyle geri kazanılabilir. Enerji tasarrufu sayesinde hem ülkemiz enerji darboğazından kurtulacak, hem de sanayici aynı ürünü daha düşük bir maliyetle

elde ederek rekabet gücünü arttırmış olacaktır. Enerji tasarrufu, enerji arz hizmetlerinin azaltılması veya kısıtlanması şeklinde de düşünülmemelidir. Enerji tasarrufu, kullanılan enerji miktarının değil ürün başına tüketilen enerjinin azaltılmasıdır. 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 veya aynı miktar enerji ile daha çok mal ve hizmet üreterek, ulusal ve uluslararası alanda rekabet gücünü arttırabilir.

Bu çalışmalarda hesaplamalarda da görüleceği üzere; Türkiye'deki sanayici kullandığı elektriğe kW başına yaklaşık 7 cent USD ödemektedir. Oysa başta A.B.D ve Brezilya olmak üzere birçok ülkede bu değer ortalama 4 cent USD civarındadır. Enerji fiyatlarındaki yüksek girdi sanayicimizin rekabet gücünü olumsuz etkilemektedir. Bu durum sanayicinin enerjisi olabildiğince verimli kullanılmasını gerektirmektedir.

Bu çalışmanın amacı bilinmeyen bir şeyi ortaya koymak değil, literatürde var olan ancak iş yoğunluğu, önemsememe, eğitimsizlik veya bilinçsizlik gibi nedenlerle kaybolan milyarlarca dolarlık tasarruf potansiyelini nerelerde aramız gerektiğini vurgulamaktır. Çalışmada sanayi tesislerinde tasarruf edilecek enerji ve bunun mali değerinin hesabı için gerekli prosedürler açıklanmıştır. Her bir tasarruf potansiyeli için gerçekleştirilmiş enerji tasarrufu çalışmalarından örnekler verilmiş, bu örneklerde tasarruf miktarı, tasarrufun mali karşılığı, yatırım tutarı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

POTANSİYEL ENERJİ TASARRUF ALANLARI

Yakma Havasının Isıtılması

Tesislerde atık ısıların değerlendirilebileceği önemli bir alan da, tesiste bulunan kazan veya fırınlarda kullanılan yakma havasını ısıtılarak kullanılmasıdır. Yanma havasının her 28°C sıcaklık artışında yanma verimi de yaklaşık olarak 1% oranında artmaktadır (Sanayide Enerji Yönetimi,1997). Yapılan bir çalışmada, bir tesiste atmosfere atılan üretim fazlası 14911 kg/saat debideki buharın (350 kPa basınç ve 428.16 K sıcaklığında), tesisteki fırınların yanma havasının ön

ısıtılmasında kullanılması durumunda yıllık 1.093.570 \$ enerji tasarrufu sağlanacağı hesap edilmiştir. Bu yatırımın geri ödeme süresi ise sadece bir ay olarak hesaplanmıştır (Kaya D, 1996, Saraç H.İ. ve diğerleri 1997).

Kazan yakma havasının ön ısıtılması sonucunda sağlanacak enerji tasarrufu miktarları aşağıda eşitlikler kullanılarak hesap edilebilir:

$$\text{Yıllık Yakıt Tasarrufu} = \text{Yıllık Yakıt Tüketimi} \cdot [1 - (b_m, b_h)] \quad (1)$$

$$\text{Hedeflenen Kazan Verimi} (b_h) = b_m + (VK \cdot DT) \quad (2)$$

Burada; b_m mevcut kazan verimi, b_h hedeflenen kazan verimi, VK verim artırma katsayısı, DT mevcut ve hedeflenen hava sıcaklıkları farkı ($^{\circ}\text{C}$)'dır.

Yıllık tasarrufun mali karşılığı:

$$\text{Yıllık Tasarruf Mali Bedeli} = \text{Yıllık Yakıt Tasarrufu} \cdot \text{Birim Yakıt Bedeli} \quad (3)$$

Örnek: Bir fabrikada kullanılan iki adet kazanın baca gazlarının çıkış sıcaklığı $245\text{-}250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu kazanlarda yakıt olarak fuel oil 6 kullanılmakta olup, birim fiyatı $0.19\text{ } \$/\text{kg}$, yıllık kullanılan yakıt miktarı ise $2.169.715\text{ kg}$ 'dır. Kazanların yanma verimi yapılan gaz analizleri ile %86 bulunmuştur. Bu kazanlarda kullanılan yanma havasının baca gazıyla ısıtılması durumunda yapılacak enerji ve mali tasarruflar, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi nedir?

Çözüm: Baca gazları ile ısıtılmış sıcak hava brülör hava girişine bir hava kanalı ile taşınabilir. Baca çıkış gazını yakma havasının ısıtılmasında da kullanılması durumunda, yanma havası sıcaklığı rahatlıkla $55\text{-}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ kadar yükseltilebilir. Örneğin verimde %2'lik bir artışın sağlanması için kazan yakma havası sıcaklığının $56\text{ }^{\circ}\text{C}$ yükseltildiği kabulünden hesapları yapalım. Basit bir hava kanalı yardımı ile baca cidarında ısınmış olan sıcak havanın brülör hava girişine verilmesi ile yakma havası sıcaklığı $56\text{ }^{\circ}\text{C}$ yükseltilecektir.

Kazanların yanma verimi, cidar ve blöf kayıpları için %3-4 ilave kayıp olacağı düşünülerek her iki kazanın için ortalama verimi %82 alınabilir. Hedeflenen kazan verimi 2 nolu eşitlikten:

$$\begin{aligned}\text{Hedeflenen Kazan Verimi} &= \%82 + ((1, 28^{\circ}\text{C}) - 56^{\circ}\text{C}) \\ &= \%84\end{aligned}$$

Yıllık yakıt tasarrufu ve bunun mali karşılığı ise 1 ve 3 nolu eşitliği kullanarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\begin{aligned}\text{Yıllık Yakıt Tasarrufu} &= 2.169.715 \text{ kg/yıl} \cdot [1 - (0.82, 0.84)] \\ &= 51.660 \text{ kg/yıl} (490,8 \text{ Gcal/yıl})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Yıllık Mali Tasarruf} &= \text{Yıllık Yakıt Tasarrufu} \cdot \text{Birim Yakıt Bedeli} \\ &= 51.660 \text{ kg/yıl} \cdot 0.19 \text{ \$/kg} \\ &= 9.920 \text{ \$/yıl}\end{aligned}$$

Gerçekleştirme Maliyeti

Kazanların baca boruları etrafına yapılacak hava kanalı ile bu kanaldan brülör emişine kadar döşenecek hava kanalı ve işçilik için tahmini değerler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yapılacak Yatırım Miktarı

Miktar	Birim	Açıklama	Birim Maliyet	Toplam Maliyet
10	m	Æ200 mm hava kanalı	20	200
3	m	Æ 500 mm hava kanalı	20	60
4	saat	İşçilik	40	160
TOPLAM				\$420
TOPLAM MALİYET (2 KAZAN İÇİN)				\$840

Geri Ödeme Süresi

Geri ödeme süresi; gerçekleştirme maliyetinin hesaplanan yıllık tasarruf miktarına bölünmesi ile bulunabilir.

$$\begin{aligned} \text{Geri Ödeme Süresi} &= \text{Gerçekleştirme Maliyeti} / \text{Yıllık Tasarruf Miktarı} & (4) \\ &= 840\$ / 9.920 \$/\text{yıl} \\ &= 0.08 \text{ yıl} & (1 \text{ ay}) \end{aligned}$$

Kirlenmiş Akışkandan Isı Geri Kazanımı

Kirlenmiş akışkandan ısı enerjisi tasarruf potansiyelinin en yoğun olduğu sektör tekstil sektörüdür. Bu sektöründe, en fazla enerji yoğun kısım ıslak prosesleme kısmıdır. Islak proses, boyama, ağartma, kimyasal muamele, ve yıkama işlemlerini içerir. 70 °C deki bir akışkandan ısı geri kazanımı enerji tasarrufunda bilinen metottür. Sudan suya ısı eşanjörleri, sıcaklıkları 40 °C ile 100 °C arasında bulunan sıcak akışkanlardan ısı geri kazanılmasında etkilidirler. Sudan suya ısı geri kazanım sistemlerinin pek çoğu gelen soğuk suyun ön ısıtılması için geri kazanılmış ısıyı kullanılır. İhtiyaç duyulan proses sıcaklığı ilave buhar veya gaz ısıtması ile sağlanır. Böylece sağlanan enerji tasarrufu direkt olarak buhar veya gaz tüketimindeki azalmaya karşılık gelir. Sistemin ilk yatırım maliyeti yüksek olduğu halde sistemin avantajları daha fazla ve mali risk minimumdur (Sanayide Enerji Yönetimi,1997).

Böyle bir sistemin tesisine ilişkin bağıntılar:

$$\text{Atık Su Debisi} = \text{Kullanılan Su Miktarı} / \text{Toplam Süre} \quad (5)$$

$$\text{Geri Kazanılan Atık Isı} = \text{Atık Su Debisi} \cdot (\text{Çıkış Sıcaklığı} - \text{Giriş Sıcaklığı}) \quad (6)$$

$$\text{Geri Kazanılan Yakıt Miktarı} = \text{Geri Kazanılan Isı} / \text{Fuel Oil Özgül Isısı} / \text{Kazan Verimi}$$

´ Yıllık Çalışma Saati ´ Kullanma Katsayısı

(7)

Tasarruf Edilen Yakıt Bedeli=Gerı Kazanılan Yakıt Miktarı ´ Yakıt Birim Fiyatı

(8)

Örnek: Bir tekstil fabrikasında yapılan enerji etüdü çalışmalarında, boyahanelerde bulunan overflow makinaları yaklaşık 20°C'deki şebeke suyunu, bünyelerinde bulunan buhar eşanjörleri ile ısıtarak kullandığı tespit edilmiştir. Kullanma sıcaklığı reçeteye göre 95°C ile 20°C arasında değişmekte ve makine içindeki su 10-12 defa dışarıdan temiz su alınarak yenilenmektedir. Atılan sular bir kanal yardımı ile atık su deposunda toplanmakta ve arıtma tesisine gönderilmektedir. Bu suların proseste tekrar kullanılması ekonomik olmadığından, içerdikleri büyük miktarda ısı ile beraber atılmaktadır. Boyahane de bulunan overflow makinalarına ait bilgiler ve maliyet hesapları için gerekli bütün değerler yetkililerden alınmış ve Tablo 2'de verilmiştir. Atık ısının kazanılması durumunda yapılacak enerji ve mali tasarruflar, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi nedir?

Tablo 2. Hesap Parametreleri

Parametreler	
Soğuk Su Giriş Sıcaklığı, °C	20
Ortalama Atık Su Sıcaklığı, °C	70
Toplam Overflow m/c Kapasitesi, kg	4.175
Su Kullanma Oranı, kg su/kg ürün	10
Kazan Verimi	0.82
Fuel Oil Özgül Isısı, kcal/kg	9500
Fuel Oil Birim Fiyatı, \$/kg	0.19
Yıllık Çalışma Saati, Saat	7200
Kapasite Kullanma Katsayısı*	0.9
Günlük Şarj Miktarı	2,2

* Kapasite Kullanma Oranı: Overflow makinalarında yıkama yapılan sürenin, yıllık fabrika çalışma süresine oranı

Çözüm:

Yapılacak yatırım ile atılan ısının büyük kısmı bir eşanjör vasıtasıyla geri kazanılarak overflow makinalarına giren su ısıtılabilir. Böylece makinaların buhar sarfiyatı azaltıldığı gibi overflow makinalarının üretim kapasiteside (yeni suyu ısıtmak için geçen süre düşeceğinden) artırılmış olacaktır.

Bu değerleri kullanarak geri kazanılacak ısı miktarı hesaplanabilir. Tablo 3’de verilen örnek bir overflow reçetesi hesaplamalarda baz alınmıştır. Overflow makinalarından her su değişiminde atılan su miktarının eşit olduğu kabul edilerek, hesaplarda ortalama atık su sıcaklığı olarak 70°C alınmıştır.

Tablo 3. Örnek Overflow Reçetesi

Sıra	İşlem	Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Sıcak Su (°C)
1	Kasar Suyu	95	60	95
2	Taşarlı Durulama	20	5	
3	Sıcak Yıkama	90	10	90
4	Nötr	50	20	50
5	Boya Suyu	60	120	60
6	Taşarlı Durulama	20	5	
7	Nötr	50	20	50
8	Sabunlu Yıkama	95	10	95
9	Sıcak Yıkama	90	10	90
10	Sıcak Yıkama	80	10	80
11	Taşarlı Durulama	20	5	
12	Apre	50	20	50
Yükleme Boşaltma ve Bekleme Süresi			360	
Toplam Süre			655	
Ortalama Sıcaklık				73
Su Değişirme Adedi				9

Bir ürünün makinada işlem gördüğü toplam süre 655 dakika olduğu kabul edilerek atık su debisi hesaplanabilir (günlük 2,2 adet şarj yapıldığı varsayılmıştır).

Kullanılan Su Miktarı = Toplam Overflow Makine Kapasitesi ´ Su Kullanma Oranı ´ Su Değiştirme Adedi (9)

$$= 4.175 \text{ kg-ürün } ´ 10 \text{ kg-su/kg-ürün } ´ 9 \text{ adet}$$

$$= 375.750 \text{ kg}$$

Atık su debisi ise 5 nolu denklemden:

$$\text{Atık Su Debisi} = 375.750 \text{ kg} , 655 \text{ dakika } ´ 60 \text{ dakika/saat}$$

$$= 34.420 \text{ kg/saat}$$

Eşanjör hesabı için oluşturulan parametreler Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Eşanjör Parametreleri

	Sıcak Akışkan	Soğuk Akışkan
Akışkan	Atık Su	Su
Debi, kg/h	34.420	34.420
Giriş Sıcaklığı, °C	70	20
Çıkış Sıcaklığı, °C	39	50
Sıcaklık Farkı, °C	31	30
Isı Miktarı, kcal/h	1.067.015*	1.032.595

*Eşanjör etkinliği %97 alınmıştır.

Geri Kazanılan Atık Isı 6 nolu denklemden: Geri Kazanılan Atık Isı = 34.420 kg/h ´ (50°C – 20°C)

$$= 1.032.595 \text{ kcal/h}$$

Geri kazanılan ısının yıllık karşılığı, overflow makinalarının çalışma kapasitelerine bağlıdır. Geri kazanım eşanjörü sayesinde ısıtma süreleri azalacağından makinaların günlük şarj miktarı da artacaktır. şekil 1'de çeşitli eşanjör kapasiteleri (ve bunu sağlayacak günlük şarj adedi) için tasarruf miktarları verilmiştir. Hedeflenen üretim ve buna bağlı olarak şarj adedi için gerekli eşanjör

kapasitesi bu tablodan seçilebilir. Yine tablodan karşılık gelen yıllık tasarruf miktarı bulunarak geri ödeme süresi hesaplanabilir. Aşağıdaki örnek hesaplar %90 kapasite kullanımı için yapılmıştır.

Geri Kazanılan Yakıt Miktarı 7 nolu denklemden :

$$\begin{aligned} \text{Geri Kazanılan Yakıt Miktarı} &= 1.032.595 \text{ kcal/h} \cdot 9.500 \text{ kcal/kg} \cdot 0,82 \cdot 7200 \cdot 0,9 \\ &= 858.950 \text{ kg/yıl (859 ton/yıl)} \end{aligned}$$

Tasarruf edilen yakıt bedeli 8 nolu denklemden:

$$\begin{aligned} \text{Tasarruf Edilen Yakıt Bedeli} &= 858.950 \text{ kg/yıl} \cdot 0.19 \text{ \$/kg} \\ &= 165.463 \text{ \$/yıl} \end{aligned}$$

Gerçekleştirme Maliyeti

Mevcut atık su kanalına sıcak su ile beraber, soğuk sular da akmaktadır. Bu nedenle overflow makinalarında tadilata ihtiyaç vardır. Soğuk su tahliyesi için ayrı bir kanal yapılmalı ve sıcak su kanalı izole edilmelidir. Yapılan piyasa araştırmasında toplam yatırım miktarı; eşanjör, pompalar, tesisat ve işçilik dahil olmak üzere yaklaşık 70,000 \$ olarak bulunmuştur.

Şekil 1. Geri Kazanım Kapasitesine Bağlı Olarak Tasarruf Bedeli ve Günlük Şarj Sayısı

Gerçekleştirme Süresi

Geri ödeme süresi; gerçekleştirme maliyetinin hesaplanan yıllık tasarruf miktarına bölünmesi ile bulunabilir (4 nolu eşitlik).

$$\begin{aligned} \text{Geri Ödeme Süresi} &= \$70,000 / 165,463 \$/\text{yıl} \\ &= 0.42 \text{ yıl} \quad (5 \text{ ay}) \end{aligned}$$

Sıcak ve Soğuk Yüzeylerin Yalıtımı

Isı yalıtımı; sıcak ve soğuk boru hatlarına, ısı kaybı yada ısı kazancı olan tesislere ve binalara uygulanabilen, çok fazla yatırım maliyeti getirmemekle birlikte, oldukça önemli miktarda enerji tasarrufu sağlayabilen ve sağladığı tasarruflarla kendisini kısa sayılabilen sürelerde geri ödeyebilen, enerji tasarrufu yöntemlerinden birisidir. Yalıtım ile temin edilecek tasarruf miktarının belirlenmesi için mevcut durumdaki ve yalıtım sonrası sıcak yüzeylerden olan ısı kayıplarının hesaplanması gereklidir. Daha sonra yıllık enerji tasarrufu aşağıdaki formülden hesaplanabilir:

$$\text{Tasarruf Edilecek Enerji} = [(Q_m - Q_y) \cdot YÇS \cdot 3600] \cdot b \quad (10)$$

Burada; Q_m mevcut durumda yalıtımsız yüzeylerden ısı kaybı (W), Q_y yalıtımlı yüzeylerden ısı kaybı (W), YÇS yıllık çalışma saati (saat/yıl), b kazan verimi.

Yalıtımsız ve yalıtılmış buhar borularından olacak ısı kaybı ise aşağıdaki formüllerden hesaplanabilir (Sanayide Enerji Yönetimi,1997):

$$Q_m = (h_c + h_r) \cdot p \cdot d_1 \cdot (T_s - T_a) \quad (11)$$

$$Q_y = p \cdot d_1 \cdot (T_s - T_a) \cdot [\ln(d_2 / d_1) / (2 \cdot k) + 1 / (h_{so} \cdot d_2)] \quad (12)$$

Burada; T_s boru yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), T_a ortam sıcaklığı, d_1 boru dış çapı (m), h_c ısı taşınım katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$), d_2 yalıtım sonrası dış çap (m) ise, e emissivite, h_r radyasyonla ısı transfer katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$), h_{so} yalıtım sonrası yüzeye ait ısı taşınım katsayısı.

$$d_2 = d_1 + 2 \cdot t_{\text{yalıtım}}$$

$$h_c = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot e \cdot (T_s^2 - T_a^2) \cdot (T_s + T_a)$$

$$h_r = 1,32 \cdot [(T_s - T_a) \cdot d_1]^{0,25}$$

Örnek: Proses için gerekli ısı enerjisinin büyük bölümü buhardan karşılayan bir fabrikada yapılan enerji tasarrufu çalışmaları sırasında, buhar kazanında üretilen 6 bar basıncındaki buharın taşınması kullanılan boru hatları, vanalar, kondens tankı ve kollektörlerin yalıtımsız olduğu tespit edilmiştir. Bu tesiste, hesaplamalarda kullanılacak parametreler temin edilerek Tablo 5’da verilmiştir. Tesisteki boru hatları ve vanaların izole edilmesiyle yapılacak enerji ve mali tasarruflar, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi nedir?

Tablo 5. Hesaplarda Kullanılan Değerler

Parametreler	
Ortam Sıcaklığı T_a , °C	20
Yalıtımsız yüzeyin emissivitesi, e	0.90
Yalıtım sonrası ısı taşınım katsayısı, $W/m^2 \cdot ^\circ C$	10
Yalıtım malzemesinin ısıl iletkenliği, $W/m \cdot ^\circ K$	0,04*
Kazan Verimi	0,82
Fuel Oil Özgül Isısı, kcal/kg	9.860
Fuel Oil Birim Fiyatı, \$/kg	0,186
Yıllık Çalışma Saati, Saat	8.400

* Kaya veya cam yünü

Çözüm :

Tesiste yapılan incelemede tespit edilen, yalıtım yapılması gerekli boru ve ekipmanların bir özeti ile bunlardan oluşan enerji kaybı 10, 11 ve 12 nolu eşitlikler kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 6. de verilmiştir.

Tablo 6. Yalıtımın Sağlayacağı Tasarrufu

Açıklama	Miktar	Çap (mm)	Boy (m)	Yüzey Sıcaklığı (°C)	Q _m (W)	Q _y (W)	Tasarruf (W)
Kondens Tankı	1	1,500	5	80	14.515	1.700	12.815
Kolektör	2	200	1.5	150	4.007	334	3.672
Boru	1	35	15	150	4.286	453	3.834
Boru	1	60	2	150	916	86	830
Boru	1	21	10	160	2.038	243	1.795
Boru	1	60	54	150	24.734	2.322	22.412
Boru	1	60	20	90	3.961	463	3.498
Vana	12	80		150	4.342	363	3.979
Vana	6	50		160	1.715	140	1.575
Vana	6	40		150	1.340	114	1.226
Vana	15	20		150	2.431	211	2.220
						TOPLAM	57.856

Geri kazanılan yakıt miktarı ve tasarruf edilen yakıt bedeli:

$$\begin{aligned}
\text{Geri Kazanılan Yakıt Miktarı} &= \text{Geri Kazanılan Isı} \cdot \text{Fuel Oil Özgül Isısı} \cdot \text{Kazan Verimi} \\
&\quad \cdot \text{Yıllık Çalışma Saati} \cdot \text{Çevirme Katsayısı} \quad (13) \\
&= 57.856 \text{ W} \cdot 9.860 \text{ kcal/kg} \cdot 0.82 \cdot 8400 \text{ saat/yıl} \\
&\quad \cdot (3600 \text{ s/saat} \cdot 4184 \text{ J/kcal}) \\
&= 51.718 \text{ kg/yıl} \quad (51.7 \text{ ton/yıl})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tasarruf Edilen Yakıt Bedeli} &= \text{Geri Kazanılan Yakıt Miktarı} \cdot \text{Yakıt Birim Fiyatı} \quad (14) \\
&= 51.718 \text{ kg/yıl} \cdot 0.186 \text{ \$/kg} \\
&= 9.620 \text{ \$/yıl}
\end{aligned}$$

Gerçekleştirme Maliyeti

Kullanılacak yalıtım malzemeleri ve işçilik için tahmini değerler Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Yapılacak Yatırım Miktarı

Miktar	Birim	Açıklama	Toplam Maliyet
29	m ²	Kaya Yünü	131
101	m	Prefabrik Kaya Yünü Boru	781

		Yalıtım Mlz.	
39	adet	Vana Yalıtım Ceketi	1.112
96	saat	İşçilik	960
TOPLAM			\$2.984

Geri Ödeme Süresi

Geri ödeme süresi; gerçekleştirme maliyetinin hesaplanan yıllık tasarruf miktarına bölünmesi ile bulunabilir.

$$\begin{aligned} \text{Geri Ödeme Süresi} &= 2.984 \$, 9.620 \$/\text{yıl} \\ &= 0.31 \text{ yıl (3.7 ay)} \end{aligned}$$

Boşta Çalışma Süresinin Azaltılması

Birçok tesiste; enerji tüketen bazı ekipmanların yükte olmadığı zamanlarda da çalıştırıldığı tespit edilmiştir. Bu tür ekipmanların mümkünse tam yükte çalıştırılması ve kullanılmadığı zamanlarda kapatılması büyük tasarruf sağlar.

Boşta çalışmanın önlenmesiyle yapılacak enerji ve parasal tasarruf:

$$\text{Motorun Tam Yükteki Çekmiş Olduğu Enerji} = MG \times \zeta S_t \times YF / h_t \quad (15)$$

$$\text{Motorun Kısmi Yükteki Çekmiş Olduğu Enerji} = MG \times \zeta S_k \times YF / h_k \quad (16)$$

$$\text{Motorun Boşta Çekmiş Olduğu Enerji} = MG \times \zeta S_b \times YF / h_b \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{Enerji Tasarrufu} &= \text{Motorun Kısmi Yükteki Çekmiş Olduğu Enerji} + \text{Motorun Boşta} \\ &\text{Çekmiş Olduğu Enerji} - \text{Motorun Tam Yükte Çekmiş Olduğu Enerji} \quad (18) \end{aligned}$$

$$\text{Mali tasarrufu} = \text{Enerji Tasarrufu} \times \text{Elektriğin Birim Maliyeti} \quad (19)$$

Burada; MG motor gücü, ζS_t tam yükte çalışma saati, ζS_k kısmi yükte çalışma saati, ζS_b boşta çalışma süresi, h_t tam yükte motor verimi, h_k kısmi yükte motor verimi h_b boşta çalışmada motor verimi, YF motorun yüklenme faktörü.

Örnek: Bir fabrikada yapılan enerji etüdü çalışmalarında, üretimde kullanılan 500 kW'lık motorunun, operasyonda yapılacak bazı değişikliklerle tam yükte çalıştırılabilir iken, yarım yükte ve zaman zamanda boşa çalıştırıldığı görülmüştür. İşletme kayıtlarından makinanın yarı yükte çalışması süresi 4388 saat/yıl, boşa çalışma süresi ise 439 saat/yıl olduğu tespit edilmiştir. Makinalar tam yükte çalıştırılması durumunda 2194 saat çalıştırmak yeterli olacaktır. Kurumun ödediği elektriğin birim fiyatı 0.068 \$/kW'dır. Motor katalogundan, motor verimi tam yükte %96, yarım yükteki verimi %92 dir. Motorun boşa çalışmadaki çektiği güç ise 50 kW olarak ölçülmüştür. Böyle bir sistemde yapılacak enerji ve mali tasarruflar, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi nedir?

Çözüm: Tesiste kullanılan bu motorun gücünün büyük olması nedeniyle çok fazla enerji kaybına neden olmaktadır. Boşa çalışmaları engellemek için motorun çalışma şeklinde ve yükleme düzeninde bir değişiklik yapmak gerekmektedir. Bu düzenlemeler sonucunda elde edilebilecek tasarruf miktarının hesabı yapılan kabuller ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Motorun Tam Yükteki Çekmiş Olduğu Enerji 15 nolu eşitlikten:

$$\text{Motorun Tam Yükteki Çekmiş Olduğu Enerji} = 500 \times 2194 \times 1 / 0.96$$

$$\text{Motorun Tam Yükteki Çekmiş Olduğu Enerji} = 1.142.708 \text{ kWh/yıl}$$

Motorun Yarım Yükte Çekmiş Olduğu Enerji 16 nolu eşitlikten:

$$\text{Motorun Yarım Yükte Çekmiş Olduğu Enerji} = 500 \times 0.5 \times 4388 / 0.92$$

$$\text{Motorun Yarım Yükte Çekmiş Olduğu Enerji} = 1.192.472 \text{ kWh / yıl}$$

Motorun Boşa Çekmiş Olduğu Enerji (17 nolu eşitliği kullanılarak):

$$\text{Motorun Boşa Çekmiş Olduğu Enerji} = 50 \times 439$$

$$\text{Motorun Boşa Çektiği Enerji} = 21.941 \text{ kWh}$$

Enerji Tasarrufu 18 nolu eşitlikten:

Enerji Tasarrufu = 1.192.472 kWh/yıl + 21,941 kWh - 1.142.708 kWh/yıl

Enerji Tasarrufu = 71.105 kWh/yıl

Enerji Tasarrufu 19 nolu eşitlikten:

Mali tasarrufu = 71.105 kWh/yıl x 0.068 \$ /kW

Mali tasarrufu = 4785 \$/yıl

Gerçekleştirme Maliyeti

Bu tasarruf tedbiri için hiçbir yatırım ön görülmemektedir. Sadece operasyonda bir düzenleme yapılması yeterli olacaktır.

Geri Ödeme Süresi

Gerçekleştirmek için yatırıma gerek olmadığından, boşa çalışma oranı düşürüldüğü takdirde bu tedbir kâra dönüşmeye başlar.

Standart V-Kayışları Yüksek Verimli Olanlar ile Değiştirilmesi

Yapılan araştırmalar yüksek verimli V-kayışların (tırtıllı V-kayış, triger kayış diye de anılmaktadır) enerji tasarrufu sağladığını göstermektedir. Bunun sebebi kayış-kasnak arasındaki kaymanın azalması ve kayışta meydana gelen ısınmanın düşmesidir. Yüksek verimli V-kayış-kasnak sisteminin kullanılması ile %2-%8.4 daha verim artışı sağlanmaktadır. Sadece kayışın değiştirilmesi ile sağlanacak verim artışı %2-%4 arasındadır (Şekil 2).

Yıllık olarak tasarruf edilecek enerji miktarı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\text{Kullanılan Güç} = (N \cdot MG \cdot YK) \cdot h \quad (20)$$

$$\text{Enerji Tasarrufu} = \text{Kullanılan Güç} \cdot \text{ÇS} \cdot \text{KK} \cdot \text{TY} \quad (21)$$

Burada, N verilen güçteki motor sayısı, MG motor gücü - tahrik motorunun gücü (kW), YK yükleme katsayısı (motorun normal çalışma gücünün nominal güce oranı), h motor verimi, ÇS

çalışma saati), KK kullanma katsayısı (motorların çalışma saatlerinin tesis çalışma saatlerine oranı), TY çarpan (enerji tasarrufu yüzdesi).

Şekil 2. Tırtıllı Kayış Kullanan Kayış-Kasnak Tabrik Sistemi

Örnek: Bir sanayi tesisinde yapılan enerji etüdü çalışmalarında 16 adet motorda kullanılan kayış-kasnak sisteminin standart tipte olduğu tespit edilmiştir. Tesisin yıllık çalışma saati, 8.640 saat/yıl, elektriğin birim fiyatı ise 0.068 \$/kWh'dır. Yükleme katsayısı %50, TY Çarpan–enerji tasarrufu yüzdesi, %2 alınacaktır. Tesiste kullanılan standart V tipi kayışların kullanıldığı motorların gücü, motor sayısı, kullanma katsayısı ve verimi Tablo 8'da verilmiştir. Tesiste kullanılan kayışların, yüksek verimli kayışlarla değiştirilmesi durumunda enerji ve mali tasarruflar, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresi nedir?

Tablo 8. Tesiste Standart V Tipi Kayışların Kullanıldığı Motorların Gücü, Motor Sayısı, Kullanma Katsayısı Ve Verimi

Motor No	Motor Gücü (kW)	Motor Sayısı	Kullanma Katsayısı	Mevcut Motor Verimi
1	500	1	0.75	0.945
2	400	1	1	0.945
3	250	1	1	0.935
4	75	1	1	0.91
5	160	1	1	0.925
6	250	1	1	0.935
7	250	1	1	0.935
8	90	1	0.75	0.915
9	280	1	0.75	0.925
10	37	1	0.5	0.9

11	37	1	0.5	0.9
12	11	1	0.9	0.86
13	5.5	1	0.9	0.82
14	11	1	0.9	0.86
15	37	1	1	0.9
16	45	1	1	0.9
TOPLAM	2,439	16		

Çözüm:

Örnek olarak 500 kW gücündeki fan motorunun standart tip V kayışı yerine yüksek verimli kayış kullanılması durumunda tasarruflar hesapları:

Kullanılan güç 20 nolu eşitlikler kullanılarak:

$$\text{Kullanılan Güç} = (1 \times 500 \text{ kW} \times 0.5) / 0.945 \\ = 264.6 \text{ kW}$$

Enerji Tasarrufu 21 nolu eşitlikler kullanılarak:

$$\text{Enerji Tasarrufu} = 264.6 \text{ kW} \times 8640 \text{ saat/yıl} \times 0.75 \times 0.02 \\ = 34292 \text{ kWh/yıl (29.5 Gcal/yıl)}$$

Tasarruf edilen enerjinin parasal karşılığı; enerji tasarrufunun, enerjinin birim fiyatıyla çarpılmasıyla bulunur:

$$\text{kWh/yıl} \times 0.068 \text{ \$/kW}$$

$$\text{Tasarruf Edilen Para} = 34292$$

$$= 2.332 \text{ \$/yıl}$$

Tesisteki tüm motorlar için tahmini tasarruf miktarları aynı yöntemlerle hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 9'de verilmiştir.

Tablo 9. Yüksek Verimli (tırtıllı) Kayış Kullanımı ile Yapılacak Tahmini Tasarruf Miktarları

Motor No	Motor Gücü (kW)	Enerji Tasarrufu (kWh/yıl)	Mali Tasarruf (\$/yıl)
1	500	34.286	2.331
2	400	36.571	2.487
3	250	23.102	1.571
4	75	7.121	484
5	160	14.945	1.016
6	250	23.102	1.571
7	250	23.102	1.571
8	90	6.374	433
9	280	19.615	1.334
10	37	1.776	121
11	37	1.776	121
12	11	995	68
13	5.5	522	35
14	11	995	68
15	37	3.552	242
16	45	4.320	294
TOPLAM	2.439	202.151	13.746

Gerçekleştirme Maliyeti

Sadece 1 nolu ana tahrik motoru için 18 adet SPCx8000LW standart V kayışı kullanılmaktadır.

Piyasa araştırmaları sonucunda bu kayışların birim fiyatının 31\$/adet olduğu öğrenilmiştir. Aynı kayışın muadili tırtıllı kayışlar ise 40\$/adet'dir. İşçilik ücreti olarak ise 4\$/kayış alınmıştır.

$$\begin{aligned}
 \text{Gerçekleştirme Maliyeti} &= (40\$/\text{adet} + 4\$/\text{adet}) \times 18 \text{ adet} \\
 &= 792\$ \text{ (Sadece 1 nolu ana tahrik motoru için)}
 \end{aligned}$$

Yapılan piyasa araştırması sonucunda; bütün motorların V kayışlarının değiştirilmesi için, (işçilik dahil olarak) 5000\$ harcanacağı tahmin edilmiştir.

$$\text{Gerçekleştirme Maliyeti} = 5000\$ \text{ (Tablo 9'de verilen motorlar için)}$$

Geri Ödeme Süresi

Geri ödeme süresi; gerçekleştirme maliyetinin hesaplanan yıllık tasarruf miktarına bölünmesi ile bulunabilir. Sadece 1 nolu tahrik motoru için:

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{\text{Gerçekleştirme Maliyeti}}{\text{Yıllık Tasarruf Miktarı}}$$

$$=792 \$, 2332 \$/yıl$$

$$=0,34 yıl \quad (4 \text{ ay})$$

Tablo 9’da verilen motorlar için ise

$$=5.000 \$, 13.746 \$/yıl$$

$$=0.36 yıl (4,3 ay)$$

Yukarıdaki hesaplarda yüksek verimli kayışların daha uzun ömürlü oldukları gerçeği dikkate alınmamıştır. Bunlar da göz önüne alındığında geri ödeme süresi çok daha az olacaktır.

SONUÇ

Bu çalışmada, sanayide az yatırımla kazanılabilecek, oldukça cazip enerji tasarruf potansiyeli ortaya konulmuştur. Çalışmada incelenen başlıca enerji tasarruf potansiyelleri; kazan yakma havasının ısıtılması, kirlenmiş akışkandan ısı geri kazanımı, sıcak ve soğuk yüzeylerin izolasyonu, boşa çalışma süresinin azaltılması, standart V-kayışları yüksek verimli olanlar ile değiştirilmesi. Bu tasarruf potansiyellerinin enerji ve bunun mali değerinin hesabı için gerekli prosedürler açıklanmıştır. Her bir potansiyel tasarruf yöntemi için farklı sanayi kuruluşlarında gerçekleştirilen gerçek örnekler verilerek, bunlar için tasarruf edilen enerji, enerjinin mali değeri, gerekli yatırım tutarı ve geri ödeme süreleri hesap edilmiştir. Bu örneklerde hesap edilen geri ödeme süreleri; kazan yakma havasının ısıtılarak kullanılmasıyla 1 ay, kirlenmiş akışkandan ısı geri kazanılmasıyla 5 ay, sıcak ve soğuk yüzeylerin izolasyonuyla 3,7 ay, boşa çalışma süresinin azaltılması anında, standart V-kayışları yüksek verimli olanlar ile değiştirilmesiyle 4,3 aydır.

Yukarıda sunulan cazip ödeme sürelerinin sanayiciyi yatırıma teşvik edeceği umulmaktadır.

Böylece sanayici aynı ürünü daha düşük maliyetle elde ederek, ulusal ve uluslararası alanda rekabet gücünü arttıracaktır.

KAYNAKÇA

1. **Barber A.**,1989. *Pneumatic Handbook, 7th ed.*, Trade and Technical Press
2. **Cengel, Y. A and Boles, M. A**, 1998. *Thermodynamics An Engineering Approach*, Third Edition, McGraw-Hill.
3. **Cerci, Y., Cengel Y. A, and Turner H.T**, 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.
4. **Cengel Y. A, Cerci, 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.
5. Energy Policies of IEA Countries, 2001. *Turkey 2001 Review*, International Energy Agency.
6. **Holdsworth, J.**, 1997. Conserving Energy in Compressed Air Systems, *Plant Engineering*, 51 (13):103-104.
7. **Kaya D, Phelan P, Chau D, and Sarac H.I.**, 2002. Energy Conservation in Compressed-air Systems, *International Journal of Energy Research*, 26: 837-849.
8. **Kaya D., Saraç H.I., Olgun H.**, 2001. Energy Saving in Compressed Air Systems, 2001. *The Fourth International Thermal Energy Congress, Çesme/TURKEY*, 69-74.
9. **Kaya D**, 1996. *Tüpraş İzmit Rafinerisi Proses Atık Buharı Isı Enerjisinin Geri Kazanılmasının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli,
- 10.. *MotorMaster Data base*, 1993, Washington State Energy Office, WA.
11. **Nadel S, Shepard M, Grenberg S, Katz G, and Almeida A.** 1991, *Energy Efficient Motor Systems: A Handbook on Technology, Program, and Policy Opportunities*. Washington D.C., American Council for Energy-Efficient Economy.
12. *National Energy Policy*. 2001, Report of the National Energy Policy Development Group, U.S Government Printing Office, Washington, DC 20402-001
13. **Risi, J.D.**, 1995. Energy Savings with Compressed Air, *Energy Engineering*, 92(6): 49-58.
14. **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.
15. *Sanayide Enerji Yönetimi*, 1997, cilt I, III, EİEİ/UETM, Ankara
16. **Talbott E. M.**, 1993. *Compressed Air Systems: A Guidebook On Energy and Cost Savings*, Second Edition, The Fairmont Press, Inc., Liburn, GA 00247.
17. **Terrell R.E.**, 1999. Improving Compressed Air System Efficiency- Know What You Really Need, *Energy Engineering*, 96(1), 7-15.
18. **Kaya, D., Güngör C**, 2002, Sanayide Enerji Tasarruf Potansiyeli-I, *Mühendis Makina*, Sayı:514, sayfa 20-30.