

# ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARI-II

**Durmuş KAYA<sup>1</sup>, Muharrem EYİDOĞAN<sup>2</sup>, Volkan ÇOBAN<sup>2</sup>, Selman ÇAĞMAN<sup>2</sup>,  
Ahmet Serhan HERGÜL<sup>1</sup>, Süleyman SAPMAZ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD, Kocaeli

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi, Enerji ve Çevre Teknolojileri Birimi, Karabük

e-posta: <sup>1</sup>[durmuskaya@hotmail.com](mailto:durmuskaya@hotmail.com), <sup>2</sup>[muharrem\\_eyidogan@hotmail.com](mailto:muharrem_eyidogan@hotmail.com),  
<sup>2</sup>[coban.volkan@yahoo.com.tr](mailto:coban.volkan@yahoo.com.tr), <sup>2</sup>[selmancagman@gmail.com](mailto:selmancagman@gmail.com), <sup>1</sup>[serhanhergul@gmail.com](mailto:serhanhergul@gmail.com),  
<sup>1</sup>[suleyman\\_sapmaz@hotmail.com](mailto:suleyman_sapmaz@hotmail.com)

## Özet

Ülkemizde enerji talebinde yaşanan hızlı artışlar ve artan enerji maliyetleri nedeniyle bilhassa üretim sektörlerinde yeni kaynak arayışlarını gündeme getirmiştir. Bu nedenle enerjinin yoğun olarak tüketildiği sanayi kuruluşlarında enerji verimliliğinin artırılması ve tasarruf imkanlarının belirlenmesi amacıyla birçok çalışma yürütülmektedir. Bu çalışmada endüstriyel kuruluşlarda gerçekleştirilen enerji verimliliği proje örnekleri ele alınmış, projeler için tasarruf miktarı, tasarrufun mali karşılığı, yatırım tutarı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Çalışmada ele alınan başlıca enerji verimliliği projeler uygulamaları: (1) Mevcut sıcak hava klapelerinin sızdırmaz klapelerle değiştirilmesi, (2) Mevcut soğutma sistemlerinin yerine absorpsiyonlu chiller ile soğutma sağlanması, (3) Kompresör emiş havasının soğutulması, (4) Soğutucu ünitesi değişimi, (5) Biyokütle kazanı by-pass hattı atık ısısının geri kazanımı.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji tasarrufu, sızdırmaz klape, absorpsiyonlu chiller, emiş havası soğutulması, atık ısı, enerji verimliliği.

## 1. Giriş

Enerji verimliliği ülkemiz için öncelikli konu olup hem sektörel rekabeti artıracak hem de ekonomimizin sürdürülebilir büyümesine öncülük edecektir. Başta enerji arz güvenliğini artırmak ve sürdürülebilir bir büyümenin sağlanması için yeni tasarruf tedbirlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için büyüme stratejileri açısından enerji arzı ve güvenliği yadsınamaz bir konudur.

Dünyada enerji üretiminde birincil kaynak olarak kullandığımız mevcut rezervler hızla tükenmekte ve

yeni arayışlar içerisine girilmektedir. Bu yönüyle enerji verimliliği bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Yapılan çalışmalarda enerji yoğun ekonomiyeye sahip ülkemiz için hem sanayide hem de konutlarda büyük tasarruf potansiyelleri karşımıza çıkmaktadır. Enerji verimliliği çalışmaları ülkemizde yeni girişimler olarak görülmekte ve ülkemizin büyüme hızına kıyasla arz güvenliği risk altına girmekte olup, verimlilikteki artışlar Türkiye'nin rekabetçi ve sürdürülebilir üretimi açısından hayati önem arz etmektedir[1].

Üretimdeki miktar ve kaliteyi düşürmeden enerji yoğunluğunu azaltacak tedbirler hayata geçirilerek birim hasıla üretimi başına enerji tüketimini düşürmek Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının öncelikli hedefleri arasında 2015-2019 stratejik planında yer almaktadır. Enerji verimliliğinin temel göstergesi durumundaki enerji yoğunluğu, ülkenin sanayi yapısını meydana getiren sektörlerle doğrudan bağlantılıdır. Verimlilik alanında yapılan çalışmalarda açık bir şekilde görüldüğü üzere taşıdığı potansiyel açısından enerjinin yoğun tüketildiği tesislerde enerji tasarruf imkanları oldukça fazladır. Net elektrik tüketiminde %47.1 ile 2013 yılı itibarıyla sanayi sektörü birinci sıradadır[2].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010-2014 stratejik planında amaç 3 kapsamında enerji verimliliğini arttırmak ve yürütülen ve planlanan çalışmalar kapsamında birincil enerji yoğunluğunun 2023 yılına kadar, 2008 yılına göre %20 oranında düşürülmesi hedeflenmektedir. Bu projeksiyon yenilenen 2015-2019 stratejik planında reel hedefler ile güncellenerek performans göstergeleri ile güçlendirilmiştir.

Bu çalışma ile endüstride başarı ile uygulanan bazı enerji verimliliği projelerine dikkat çekmek ve ülkemizde bu projelerin yaygınlaşmasına katkıda bulunmak hedeflenmiştir.

## 2. Enerji Verimliliği Uygulamaları

### 2.1. Mevcut Sıcak Hava Klapelerinin Sızdırmaz Klapelerle Değiştirilmesi

Tesiste üretim esnasında prosesten sıcak hava elde edilmektedir. Tesisten elde edilen sıcak hava, toz üretim hattına bir hava kanalı vasıtasıyla gönderilerek proseste kullanılmaktadır. Toz üretim hattında arıza varsa veya toz üretim hattı çalışmıyorsa, tesisten elde edilen sıcak hava bir klapeden geçirilerek atmosfere atılmaktadır. Toz üretim hattı çalışıyorsa klape tamamen kapalı konumda tutulmaktadır.

Klape uzun yıllar çalıştığında sızdırmazlığını kaybetmiştir. Klape kapalı tutulmasına rağmen klapeden sıcak hava atmosfere kaçmaktadır. Önerilen bu proje ile mevcut klape yerine sızdırmaz klape alınarak sıcak hava proseste kullanılacağı için enerji tasarrufu sağlanacaktır. Klapedeki durumun benzeri klapede söz konusudur. Klafenin kapalı tutulduğu durumlarda atmosfere sıcak hava kaçmaktadır. Klafenin yerine sızdırmaz klape kullanılarak enerji tasarrufu sağlanacaktır.

Ayrıca, klafenin ilgili ünitesden çıkarak toz üretim tesisine giden ana hatta mesafesi 25~30 m'dir. Klafenin ana hatta uzak olması nedeniyle klape öncesi 25~30 m'lik borudan ısı kaybı meydana gelmektedir. Yeni alınacak sızdırmaz klape ana hatta yakın yerleştirileceği için bu boruda meydana gelen ısı kaybı da ortadan kaldırılacaktır.

Isı enerjisi kazanç miktarı= 7.433.487,36 kWh/yıl

Elektrik enerjisi kazanç Miktarı = 12.979,20 kWh/yıl

Tasarrufun mali değeri= 636.618,82 TL/yıl

Yatırım maliyeti= 126.655,60 TL

$$\text{Basit geri ödeme süresi} = \frac{\text{Yatırım maliyeti}}{\text{Proje tasarruf maliyeti}} \\ = \frac{126.655,60 \text{ (TL/yıl)}}{636.618,82 \text{ (TL/yıl)}} = 0,20 \text{ yıl}$$

### 2.2. Mevcut Soğutma Sistemlerinin Yerine Absorbsiyonlu Chiller ile Soğutma Sağlanması

Mevcut durumda atık ısı kazanı kapasitesinin yüksek olmasına rağmen, buhar ihtiyacı düşük olduğu için gaz türbini egzoz gazlarının belli bir miktarı (mevsimsel şartlara göre egzoz gazı kullanım oranı) atmosfere atılmaktadır. Bu durum enerjinin kullanılmadan atmosfere atılması anlamına gelmektedir. Proje kapsamında by-pass hattından atmosfere salınan sıcak baca gazının çok büyük oranı/tamamı bir ekonomizer vasıtasıyla sıcak suya dönüştürülecektir. Gaz türbini çıkışında bulunan mevcut ekonomizerin borularında korozyon kaynaklı delinmeler olduğu için görevini yerine getirememekte, ekonomizere giren sıcak gazlar ısını aktarmadan atmosfere atılmaktadır. Yeni imal ettirilecek ekonomizer ile hem atık ısı kazanı besi suyuna ön ısıtma yapılacak hem de absorbsiyonlu chillere sıcak su sağlanacaktır.

Soğutma ihtiyacını karşılamak üzere 4 adet mekanik chiller ve 3 adet klima bulunmaktadır. Chiller-1, Chiller-2 ve Chiller-3, plastik enjeksiyon makinalarının soğutulması için kullanılmaktadır. Üretim chilleri ve klimalar ise ıslak mendil paketleme ve losyon üretim alanlarının soğutulmasında kullanılmaktadır. Yapılacak proje ile mekanik chillerler ve klimalar devre dışı bırakılarak soğutma ihtiyacının yeni kurulacak absorbsiyon chiller ile karşılanması hedeflenmektedir.

Sisteme önerilen bu proje ile dâhil edilecek olan absorbsiyonlu chiller 90~100 °C'deki sıcak su ile çalışacaktır. Absorbsiyonlu chiller soğutma kapasitesi 3.150 kW'tır. Yaz şartlarında absorbsiyonlu chiller soğutma suyunun kullanılabileceği noktalardaki maksimum soğutma yükü 1.152,50 kW'tır.

Mevcut durumda mahal soğutma için kullanılan fan-coiller proje sonrasında da kullanılmaya devam edilecektir. Absorbsiyon Chiller ile elde edilecek olan soğutma suyunun devir daimi, mevcut durumda mekanik chillerlerin soğutma suyunun devir daimi için kullanılan pompalar vasıtasıyla gerçekleştirilecektir. Absorbsiyonlu chillerde soğutma kulesi kullanılmayacak, soğutma kulesi yerine denizden alınan ve ters osmozdan geçirilerek proseste kullanılacak suyun ön ısıtması yapılacaktır.

Deniz suyunun ön ısıtılmasıyla elde edilecek kazanç tasarruf hesabına dahil edilmemiştir.

Bilindiği gibi mekanik chillerler ve klimalar elektrik enerjisi tüketmektedir. Bir tarafta gaz türbini çıkışı egzoz gazı ısısı kullanılmadan atmosfere atılırken, diğer taraftan soğutma için elektrik enerjisi kullanılmaktadır.

Önerilen bu projede, kurulumu gerçekleştirilecek olan absorpsiyonlu chiller ile elde edilecek soğutma suyu kullanılarak plastik enjeksiyon makinalarının ve ıslak mendil paketleme, losyon üretim bölümünün mahal soğutulması by-pass bacasından atılan atık ısı ile sağlanacaktır.

Ayrıca, firmamızın orta vadeli hedefinde gaz motoru alınarak fabrikamızın ihtiyacı olan elektrik enerjisinin tamamı, mevcut gaz türbini + yeni alınacak gaz motoru ile sağlanacaktır. Bilindiği gibi gaz motorlarında buhar ile birlikte sıcak suda üretilmektedir. Orta vadede absorpsiyonlu chiller daha fazla sıcak suya ihtiyaç duyması durumunda gaz motorundan elde edilecek sıcak suda kullanılabilirlerdir.

$$\text{Enerji Tasarrufu}_{\text{toplam}} = 1.394.653,92 \left( \frac{\text{kWh}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{Tasarrufun Mali Değeri}_{\text{toplam}} = 365.817,71 \left( \frac{\text{TL}}{\text{yıl}} \right)$$

$$\text{Yatırım Maliyeti}_{\text{toplam}} = 970.128 \text{ (TL)}$$

Basit Geri Ödeme Süresi

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Yatırım Maliyeti}}{\text{Tasarrufun Mali Değeri}_{\text{toplam}}} \\ &= \frac{970.128,00}{365.817,71} = 2,65 \text{ yıl} \end{aligned}$$

### 2.3. Kompresör Emiş Hava Soğutulması

Bir üretim tesisinde bulunan, akışkan yataklı bir reaktörde molibden bazlı katalizör ile birlikte propilen, amonyak ve oksijenin 0,85 kg/cm<sup>2</sup>g basınçta 450 °C civarında reaksiyonu sonucu elde edilmektedir. Reaktöre saatte yaklaşık 85 ton/saat hava beslenmektedir. Hava, bir hava kompresörü vasıtasıyla reaktöre verilmektedir. Kompresör türbininde HS buharı (yüksek basınçlı buhar) kullanılmaktadır.

Yaz aylarında hava sıcaklığının artışı ile havanın yoğunluğu düşmekte buna bağlı olarak hava kompresörü türbini için gerekli olan HS miktarı da artmaktadır. Yaz ve kış aylarındaki HS tüketimi karşılaştırıldığında 2 ton/saat fark görülmektedir. Bu proje kapsamında kompresör emiş hava sıcaklığının

15 °C'den yüksek olduğu zamanlarda emiş havasının evaporatif soğutma sistemi ile soğutulması neticesinde HS buharı tasarrufu sağlanması hedeflenmektedir[3].

$$\begin{aligned} \text{Tasarruf Edilen Yıllık Enerji Tüketimi}_{\text{toplam}} \\ &= 509.365,87 \text{ (kWh / yıl)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tasarruf Edilen Enerji Maliyeti}_{\text{toplam}} \\ &= 492.233,29 \text{ (TL/yıl)} \end{aligned}$$

$$\text{Alımın bedeli}_{\text{toplam}} = 354.679,00 \text{ (TL)}$$

Proje Basit Geri Ödeme Süresi (yıl)

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Alımın bedeli}_{\text{toplam}}}{\text{Tasarruf Edilen Enerji Maliyeti}_{\text{toplam}}} \\ &= \frac{354.679,00 \text{ (TL)}}{492.233,29 \left( \frac{\text{TL}}{\text{yıl}} \right)} \end{aligned}$$

$$\text{Proje Basit Geri Ödeme Süresi} = 0,72 \text{ (yıl)}$$

### 2.4. Soğutucu Ünitesi Değişimi Verimlilik Artırıcı Proje

Bir üretim tesisinin prosesindeki soğutma ihtiyacını karşılamak için 3 adet chiller ünitesi kullanılmaktadır. Bu chillerlerden 2 adedi sürekli kullanılmakta, 1 adedi ise ihtiyaca göre yedek beklemektedir. Proseslerden gelen sıcak haldeki soğutma suyu bir havuzda toplanmakta, pompalar vasıtasıyla chillerlere soğutulmaya gönderilmektedir. Chillerlerde soğutulan su ise havuzun diğer bölgesinde toplanmakta ve prosese gönderilmektedir. Chiller ünitelerinden iki tanesi freon 22 gazı ile çalışmaktadır. Diğer chiller ise freon 22'den R134A'ya dönüştürülmüştür. Chiller ünitesi freon 22'den R134A'ya dönüştürüldüğünde COP değeri düşmektedir. Gerek chiller ünitesinin COP değerinin düşük olması gerekse soğutucu akışkanın değişimi sonucu COP değerinin düşmesi spesifik enerji tüketimini artırmaktadır. Freon 22 kullanılan chiller ünitesinin yerine COP değeri daha yüksek chiller ünitesi alınarak enerji tasarrufu sağlanacaktır. Yeni alınacak chiller üniteleri sürekli çalıştırılacak, 3. ünite ise yedekte bekletilecektir. Böylelikle COP değeri daha yüksek olacak yeni chillerler çalıştırılarak enerji tasarrufu sağlanacaktır.

$$\begin{aligned} \text{Tasarruf Edilen Yıllık Enerji Tüketimi}_{\text{toplam}} \\ &= 1.887.336 \text{ (kWh / yıl)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tasarruf Edilen Enerji Maliyeti}_{\text{toplam}} \\ &= 358.593,84 \text{ (TL/yıl)} \end{aligned}$$

$$\text{Alımın bedeli}_{\text{toplam}} = 930.549,00 \text{ (TL)}$$

$$\begin{aligned} & \text{Proje Basit Geri Ödeme Süresi (yıl)} \\ & \frac{\text{Alımın bedeli}_{\text{toplam}}}{\text{Tasarruf Edilen Enerji Maliyeti}_{\text{toplam}}} \\ & = \frac{930.549,00 \text{ (TL)}}{358.593,84 \left(\frac{\text{TL}}{\text{yıl}}\right)} \end{aligned}$$

$$\text{Proje Basit Geri Ödeme Süresi} = 2,60(\text{yıl})$$

## 2.5. Biyokütle Kazanı By-Pass Hattı Atık Isısının Geri Kazanımı

Bir sanayi kuruluşunda, biyokütlenin yakılması ile kızgın yağ elde edilmektedir. Kızgın yağ hem proseste hem de buhar jeneratöründe buhar üretmek amacıyla kullanılmaktadır. biyokütle kazanından çıkan duman gazlarının sıcaklıkları yaklaşık 350-380 °C civarında olup bu ısı cips kurutmada kullanılmaktadır. Kurutma ünitesi girişinde bulunan bir klape vasıtasıyla kurutma ihtiyacına bağlı olarak üniteye beslenecek duman gazı miktarı ayarlanmaktadır[4]. Ayrıca, kazan ile kurutma ünitesi arasında by-pass hattı bulunmaktadır. By-pass hattı doğrudan atmosfere açılmaktadır. Kurutucu üniteye ısı gereksinimi azaldığında kazandan çıkan sıcak duman gazının bir miktarı by-pass hattı ile atmosfere atılmaktadır. Diğer taraftan kondensat tankından beslenen buhar jeneratör besleme suyu, buhar ile ısıtılarak jeneratöre gönderilmektedir. Ayrıca, kızgın yağ kazanı primer ve sekonder hava girişleri doğrudan atmosferden yapılmakta ve herhangi bir ön ısıtma bulunmamaktadır. By-pass hattından atılan ısının bir miktarı geri kazanılarak buhar jeneratörü besleme suyunun ısıtılması ve kızgın yağ kazanı primer ve sekonder hava girişlerinin ön ısıtılması yapılarak enerji tasarrufu sağlanacaktır.

$$\begin{aligned} \text{Tasarruf Edilen Yıllık Enerji Tüketimi}_{\text{toplam}} & = 1.852,94 \times 7.930 \\ & = 14.693.814 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{yıl}}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tasarruf Edilen Enerji Maliyeti}_{\text{toplam}} & = 14.693.814 \times 0,05 \\ & = 734.690,7 \left(\frac{\text{TL}}{\text{yıl}}\right) \end{aligned}$$

$$\text{Alımın Bedeli} = 466.875,00 \text{ TL}$$

Proje Basit Geri Ödeme Süresi

$$\begin{aligned} & = \frac{\text{Yatırım Maliyeti}}{\text{Tasarrufun Mali Değeri}_{\text{toplam}}} \\ & = \frac{466.875,00}{734.690,7} = 0,63 \text{ yıl} \end{aligned}$$

## 3. Sonuçlar

Bu çalışmada endüstriyel kuruluşlarda gerçekleştirilen enerji verimliliği proje örnekleri ele alınmış, her bir proje için tasarruf miktarı, tasarrufun mali karşılığı, yatırım tutarı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Çalışmada ele alınan başlıca enerji verimliliği uygulamalarından: Mevcut sıcak hava klapelelerinin sızdırmaz klapelelerle değiştirilmesi ile sağlanan enerji kazancı 7.433.487,36 kWh, elde edilen elektrik enerjisi tasarrufu 12.979,20 kWh, yıllık enerji tasarrufu mali değeri 636.618,82 TL, yatırım maliyeti 126.655,60 TL, basit geri ödeme süresi 0,20 yıldır. Mevcut soğutma sistemlerinin yerine absorpsiyonlu chiller ile soğutma sağlanması ile sağlanan toplam enerji tasarrufu 1.394.653,92 kWh, yıllık tasarrufun mali değeri 365.817,71 TL, yatırımın toplam maliyeti 970.128 TL, basit geri ödeme süresi 2,65 yıldır. Kompresör emiş havasının soğutulması ile elde edilen yıllık enerji tasarrufu 509.365,87 kWh, tasarruf edilen yıllık enerji maliyeti 492.233,29 TL, yatırım maliyeti 354.679,00 TL, proje basit geri ödeme süresi 0,72 yıldır. Soğutucu ünitesi değişimi ile tasarruf edilen yıllık enerji miktarı 1.887,336 kWh, tasarruf edilen enerji maliyeti 358.593,84 TL, yatırım bedeli 930.549,00 TL, proje basit geri ödeme süresi 2,60 yıldır. Biyokütle kazanı by-pass hattı atık ısısının geri kazanımı ile elde edilen yıllık enerji kazancı 14.693.814 kWh, enerji mali tasarrufu 734.690,7 TL, yatırım bedeli 466.875,00 TL, basit geri ödeme süresi 0,63 yıldır.

## Kaynaklar

- [1] Kaya, D., and C. Güngör. "Sanayide Enerji Tasarrufu Potansiyeli-II." Mühendis ve Makine Dergisi 515 (2002).
- [2] TEDAŞ Türkiye Elektrik Dağıtım ve Tüketim İstatistikleri – 2013. Kaya D, 1996.
- [3] Kaya D, Phelan P, Chau D, and SARAC H. İ, 2002. Energy Conservation in Compressed-air Systems, International Journal of Energy.
- [4] 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.