



ENERJİ EKONOMİSİ AÇISINDAN GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ

***Uğur Sinanoğlu**
»Dilek Özlem ESEN
'Ercüment Karakaş

"Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 41300-İZMİT

ÖZET

Ülkemizde tüketilen enerjinin sektörel dağılımına bakıldığında, sanayii sektörünün ilk sırada olduğu görülür. Eldeki verilere göre 2000 yılına kadar sanayi sektörünün en büyük kullanıcı olarak kalması beklenmektedir.

Sanayi sektörünün ısı enerjisi tüketimi, sektörün tüm enerji tüketiminin % 35 'ini oluşturmaktadır. 200°C 'nin altındaki ısı enerjisi ihtiyacının da sektörel enerji tüketiminin % 20-25 i dolayındadır. Muhtemel enerji darboğazından sanayi sektörünün etkilenmesini önlemek için proseste enerji verimliliğinin artırılması ve enerji tasarrufu ön plana çıkmaktadır.

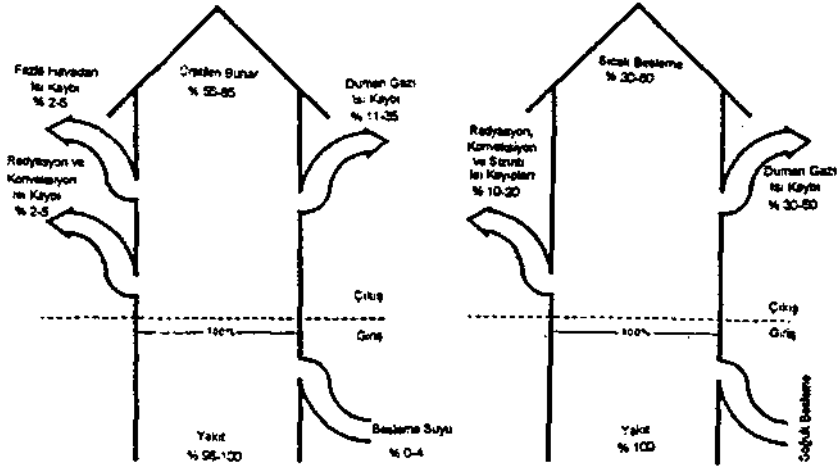
Buhar kazanları ve ocaklarda en önemli enerji kaybı bacadan atmosfere atılan sıcak baca gazlarıdır. Bu kayıp buhar kazanlarında ortalama % 11-35 ocaklarda % 30-50 arasında değişmektedir.

Ekonomizörler sadece kazanlarda kullanılırken, hava ön ısıtıcıları, kazanlar ve ocakların her ikisinde kullanılır. Kazanlarda besleme suyu sıcaklığı ocak veya kazanda yakma havası sıcaklığı, genellikle baca gazları sıcaklığının altındadır. Besleme suyu veya yakma havası, ekonomizör veya hava ön ısıtıcısından geçen baca gazındaki kayıp ısıyı emer. Bu yanma ünitesinin toplam veriminde önemli artış sağlar.

Bu çalışmada enerji geri kazanım aparatı olarak ekonomizör, reküperatör ve rejeneratörün önemi ve endüstrideki yeri üzerinde çalışıldı. Buhar kazanları için somut örneklemeler yapılarak net enerji geri kazanımı ve buna bağlı olarak, kazan büyüklüğü gözönünde tutularak amortisman süreleri çıkartıldı.

GİRİŞ

Buhar kazanlarında ve ocaklarda en önemli enerji kaybı, bacalardan çıkan baca gazlarıdır! (Şekil 1,2). Çoğu kez, bu enerji kaybı bacada, kayıp ısıyı geri kazanma tertibatıyla azaltılır. Geri kazanılan ısı, doğrudan doğruya geri kazanılan enerji yerine geçer ve bu yüzden tüketilen yakıt azalır.



Şekil 1. Kazan içersindeki enerji dağılımı Şekil 2. Ocak içersindeki enerji dağılımı

Ekonomizörler ve hava ön ısıtıcıları, kayıp ısıyı geri kazanma ekipmanları olarak endüstride kullanılır. Ekonomizörler, sadece kazanlarda kullanılırken hava ön ısıtıcıları, kazanların ve ocakların her ikisinde kullanılır. Kazanlarda besleme suyu sıcaklığı ocak veya kazanda yakma havası sıcaklığı, genellikle baca gazı sıcaklığının altındadır. Besleme suyu veya yakma havası, ekonomizör veya hava ön ısıtıcısından geçen baca gazındaki kayıp ısıyı emer. Yanan bir ünite, toplam verimdeki önemli artış bu yolla sağlanır. Bunun yanında, kazanlar ve ocaklar, kayıp ısıyı geri kazanmak için büyük bir potansiyele sahiptir.

1. EKONOMİZÖRLER

Kazan besleme suyu, kazanın asıl ısıtma yüzeylerine girmeden önce ekonomizör adı verilen elemanlar içinde duman gazları ile ısıtılabilir. Bu şekilde kazana gönderilen su ile buharlaşmakta olan su arasındaki sıcaklık farkı küçüldüğünden, kazandaki ısı gerilmeleri azalır, su içindeki gazların çıkışı kolaylaşır ve kazanın ısı verimi artar.

Yakıt ekonomisi kazandırması nedeniyle, kazan besleme suyunu ısıtan eşanjörlere, ekonomizör adı verilmiştir. Alt ısı değeri 30 000 kJ / kg olan kömür kullanan ve duman gazında %13 mertebesinde CO₂ bulunan bir buhar kazanında, duman gazının yaklaşık her 15°C değerinde fazladan soğutulması, yakıtta % 1 ekonomi sağlar. Bu cihazlar kazan verimini arttırmaktan ve ısı gerilmeleri azaltmaktan başka, ocak yükü değiştikçe verim eğrisinin oldukça sabit kalmasını da sağlarlar. Bütün tasarruf sağlayan cihazlarda olduğu gibi ekonomizörlerde de ilk yatırım masrafları ile işletme masrafları arasında optimum bir çözüm aramak gerekir. Bu nedenle, yakıt fiyatının çok düşük olduğu durumlarda, mevsimlik çalışan veya arasıra devreye giren buhar kazanları için ekonomizörler uygun olmayabilir.

Bir buhar kazanında ekonomizör veya hava ısıtıcısı yakıt tasarrufu (veya ısı verim) açısından aynı görevi yaparlar. Genellikle küçük buhar basınçlarında ve buhar debilerinde, ekonomizörler hava ısıtıcılarına göre daha ekonomiktir. 25 t / h buhar debisinden büyük değerlerde hava ısıtıcısı ekonomizörlerle rekabet edebilmekte,

büyük işletmelerde ise hem ekonomizör hem de hava ısıtıcısı aynı anda kullanılabilir. Bunların seçiminde basınç kaybı, korozyon, ilk yatırım ve bakım gözönünde tutulan ana etkenlerdir.

1.1. EKONOMİZÖR ÇEŞİTLERİ

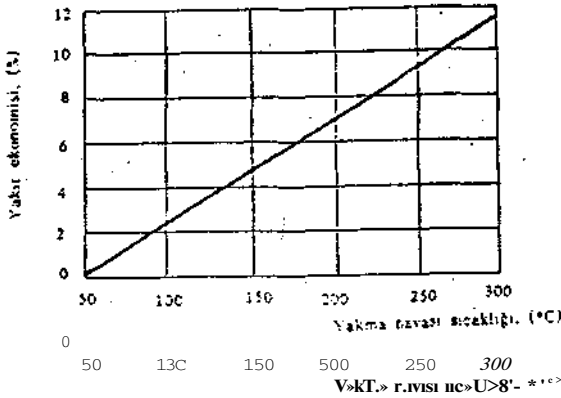
Ekonomizörler esas olarak integral ve ayrı tip olmak üzere ikiye ayrılır

- a) integral Tip Ekonomizörler
- b) Ayrı Tip Ekonomizörler
- c) Buharlaştırıcı Ekonomizörler

2.HAVA ÖN ISITICILARI

Hava ısıtıcıları, yakma havasını ısıtmak için kaybedilen ısıyı geri kazanma ekipmanlarıdır. Sıcak hava gazındaki enerji, soğuk yakma havasına transfer edilir ve bundan dolayı doğrudan yakıt tasarrufu sağlanır.

Ekonomizörlerde olduğu gibi, hava ısıtıcılarında da duman gazları bir miktar daha soğutulurken hem daha fazla yakıt ekonomisi, hemde yakma havasının ısıtılması ile ocakta daha iyi bir yanma sağlanır. Yaklaşık olarak havanın her 50°C fazladan ısıtılması, yakıtta % 2.5 değerinde bir ekonomi sağlar. Buna ait bir grafik Şekil 3'de görülmektedir. Hava ısıtıcıları özellikle düşük kalorili kömürleri yakan toz kömür ocaklarında ve sıvı, gaz yakan ocaklarda önem kazanır. Pratik olarak, bütün toz kömür yakan ocaklarda iyi bir yanma için hava 150 ile 320 °C arasında ısıtılmalıdır.



Şekil 3. Buhar kazanlarında yakma havasının ısıtılmasının yakacak ekonomisine yaklaşık etkisi

Havada ısı taşınım katsayısının suya göre daha kötü olması nedeniyle, hava ısıtıcılarının yüzeyleri ekonomizörlere göre daha fazla, yine hava ısıtıcılarında ilave gücün daha fazla olmasına rağmen, bazı yerlerde hava ısıtıcısı, ekonomizörlere tercih edilir. Hava ısıtıcılarının üstünlükleri şöyledir:

- Hava ısıtıcısına giren hava sıcaklığı, ekonomizöre giren su sıcaklığından daha düşük olduğundan, duman gazları hava ısıtıcısında daha düşük bir sıcaklığa kadar soğutulabilir.

- Hava ısıtıcısındaki basınçlar, su ısıtıcısına göre çok daha azdır.

- Daha küçük hava fazlalık katsayısı ile tam yanmaya yaklaşıldığından yanma verimi artar.
- Küçük yüklerde dahi yakıtın tutuşması kolaydır.
- Tutuşmanın hızlanması, daha geniş yük aralığında çalışmayı sağlar.
- Sıcak hava ile toz kömür kurutulduğundan, taşınması, beslenmesi ve yakılması kolaylaşır.
- Çok nemli testere talaşı, odun zeytinyağı ve pancar artıkları sıcak hava ile kurutulurken kolayca yakılabilir.
- Ayrıca çeşitli bölgelerin ısıtılmasında ve bazı maddelerin kurutulmasında sıcak havadan yararlanılabilir.

Bu üstünlüklere karşılık hava ısıtıcılarının sakıncaları da vardır:

- Havanın ısınması stoke- ve ocak duvarlarının refrakterlerinde çabuk bozulmalara neden olduğundan, ilave bir bakım masrafı doğurur.
 - Sıcak hava içine karışabilen yanıcı tozlar tutuşarak önemli tahribat yapabilir.
 - Hava kaçaklarını karşılamak için vantilatör kapasitesi artırılır.
 - Hava ve duman tarafındaki kaçakların tespiti kolay değildir. Ancak bu kaçakların neden olduğu korozyon ileri bir tahribat yaptıktan sonra kaçak yeri bulunabilir.
- Hava ısıtıcıları çalışma prensiplerine göre ikiye ayrılır:

1. Rejeneratif hava ısıtıcıları
2. Reküparatif hava ısıtıcıları

2.1. Rejeneratif Hava Isıtıcıları (Rejeneratörler)

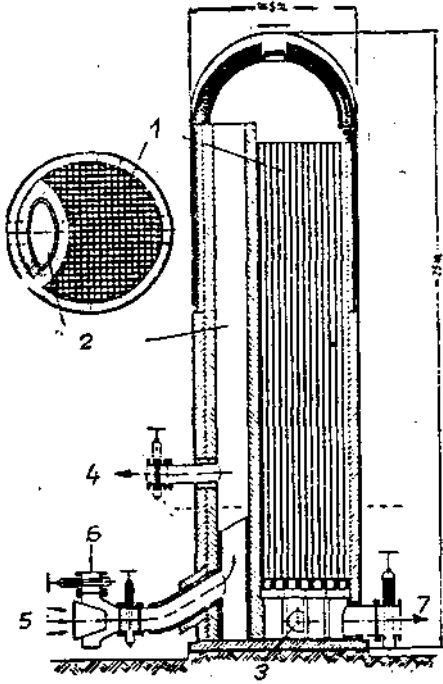
içinden sıra ile arka arkaya sıcak ve soğuk yani ısı veren ve ısı alan gaz akışkanların geçtikleri ısı değiştirgeçleridir. Gaz akışkan olarak kullanma gayesine göre genellikle çürük gazlar, baca gazları, azot, hava gazı ve benzeri akışkanlar sözkonusudur. Kanallardan geçen gazların ısıları kanal malzemeleri tarafından yutulur ve sonradan geçen gazlara verilir. Isıyı yutma ve ısı geçişi bakımından kanal malzemelerinin seçimi ile geometrileri çok önemlidir. Periyodik bir şekilde ısı yutan ve geri veren rejeneratörleri çalışma şekillerine göre,

1. Genellikle sadece rejeneratörler olarak adlandırılan sabit kanallı rejeneratörler
2. Döner rejeneratörler olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür.

Sabit Kanallı Rejeneratörler

Şekil 4'de görülen sabit kanallı rejeneratör tipi genellikle yüksek fırınlarda, Siemens Martin ocaklarında ve cam fırınlarında olduğu gibi yüksek sıcaklıklardaki gazlar yardımıyla hava ısıtmasında kullanılır. Şeklin solunda verilen ısı deposu ateşe'ateşe dayanıklı malzemeden yapılır. Yanma kanalından ise sıcak gazlar geçer ve çok yüksek sıcaklıklar elde etmek için ilave yanma yapılır, bu yüksek sıcaklıktaki gazlar ısı deposu denilen kanalcıklardan yukarıdan aşağıya doğru geçerken ısıyı yaladığı malzemeye verir, alt kısımdan dışarıya çıkar.

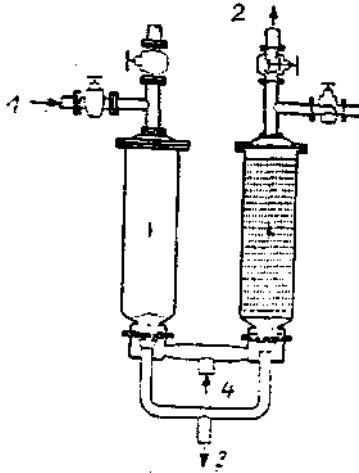
Belirli bir süre sonra sıcak gazların geçişi durdurulacak ısınacak soğuk hava ısı deposuna alt kısımdan gönderilir ve sıcak gazların ısıttıkları yüzeyleri yalayarak yutulan ısıyı geri alıp ısıtır ve mesela yüksek fırına yanma havası olarak sevk edilirler. Sıcak gazlar ile ısınan soğuk havanın geçmeleri peşisıra devam eder.



Şekil 4. Sabit kanallı rejeneratörler

1. Isı yutucu ve verici
2. Yanma boası
3. Soğuk hava girişi
4. Sıcak hava girişi
5. Sıcak gaz girişi
6. Yanma havası çıkışı
7. Sıcak gaz çıkışı

Şekil 5'de ise, havanın soğutulması için kullanılan bir rejeneratör tipi görülmektedir. Azot gazı geçerken kanalları soğutmakta, üst kısımdaki vanalar birkaç dakikalık süreler içinde periyodik olarak açılıp kapanarak azotun ve soğuyacak havanın geçişleri ayar edilmektedir. Isı alışverişi olan kanallar gözenekli veya kafesli malzemeden yapılmışlardır. Isı yutucu malzemelerin seçimleri önemlidir.



Şekil 5. Hava soğutulması için kullanılan rejeneratör

1. Hava girişi
2. Azot çıkışı
3. Hava çıkışı
4. Azot girişi

Rejeneratörlerde Toplam Isı Geçiş Katsayısı

Isıtma ve soğutma sürelerince rejeneratörün sıcaklığa dayanıklı kanal malzemelerindeki sıcaklık zamana ve kalınlığa bağlı olarak her noktada değişir. Şayet sıcak gazların geçme süresi t_1 , soğuk havanın geçme süresi t_2 , ısı geçen yüzey büyüklüğü F , gerçek toplam ısı geçiş katsayısı K ise $A0_m$ logaritmik sıcaklık ortalama olmak üzere ısı miktarı

$$Q = K(t_1 + t_2) A_0$$

ifadesiyle belirlidir.

91_g : Sıcak gazların giriş sıcaklığı

$01_{g::}$: Sıcak gazların ortalama çıkış sıcaklığı

02_g : Soğuk gazların giriş sıcaklığı

02_c : Soğuk havanın ortalama çıkış sıcaklığı

olduğuna göre, logaritmik sıcaklık farkı,

$$A0_m = \frac{(91_g - 02_c) - (01_g - 02_g)}{\ln \frac{91_g - 02_g}{01_g - 02_c}} \text{ } \text{olmaktadır.}$$

2.2. Reküperatif Hava Isıtıcıları (Reküperatörler)

Reküperatörler yüzeyli ısı değiştiricilerinden farklı cihazlar olmayıp, muhtelif gayelerle ısıtılacak havanın baca gazları ile ısıtılmasını söz konusudur. Reküperatörleri ısı geçiş şekline göre şu şekilde sınıflandırabiliriz.

1. Isı taşınım ağırlıklı reküperatörler
 - a. Seramik malzemeli reküperatörler
 - b. Dökme demir malzemeli reküperatörler
 - c. Çelik borulu reküperatörler
2. Isı taşınım ağırlıklı reküperatörler
 - a. İki kılıflı reküperatörler
 - b. Kanal içine monte edilmiş reküperatörler
3. Isı taşınımı ve ısı ışıınımı olan kombine reküperatörler

Reküperatörlerde Sağlanan Yakıt Tasarrufu

Endüstride muhtelif gayeler için kullanılan ocaklarda yakıtın yanması ile verilen ısı enerjisinin bir kısmı kullanma gayesi için kullanılırken bir kısmı da çeşitli yollardan kaybolur. Isı enerjisinin kaybı ise genellikle ocağın yüzülerinden dış ortama doğal ısı taşınımı yoluyla olan kayıplar, sızdırmazlığın iyi olmaması sebebiyle ocaktaki kaçaklar ile baca gazları yoluyla olmak üzere üç türlü meydana gelir. Baca gazları ile olan ısı kayıpları ise, baca gazlarının sıcaklığına miktarına ve kimyasal bileşenlerine bağlı olarak değişir. Örneğin, fuel-oil yakılan bir ocakta teorik yanma sıcaklığı 1800°C civarında olup baca girişi, yani ocak çıkış sıcaklığında baca gazlarının sıcaklığı 900°C ise takriben % 50 arasında bir ısı kaybı söz konusudur.

Alev sıcaklığı teorik olarak,

$$\theta_a = \frac{H_u + q_h + q_v}{abn - C_{ph}}$$

ifadesi ile belirlidir. Bu ifadede ise,

H_u : Yakıtın alt ısı değeri

q_h : Yanma havası ile giren ısı

$$q_h = L_{av} \cdot C_{ph} \cdot \theta_h$$

L_{av} : Hava fazlalık katsayısı n olması halinde özgül yanma havası miktarı

C_{ph} : Havanın özgül ısı

θ_h : Havanın sıcaklığı

q_v : Yakıt ile giren ısı

C_{py} : Yakıtın özgül ısı

θ_y : Yakıtın sıcaklığı

a_{av} : n hava fazlalık katsayısı için özgül baca gazı miktarı

c_{pb} : Baca gazı özgül ısını göstermektedir.

Teorik yanma verimi ise,

$$\eta_{yanma} = \frac{H_u + q_h + q_v - q_b}{H_u}$$

ifadesiyle belirli olup, baca gazının sıcaklığı θ_b , olmak üzere baca gazı ısı,

$$q_b = abn \cdot C_{pb} \cdot \theta_b$$

bağıntısıyla verilmektedir. Bu tür bir ısı prosesinin verimi, baca gazlarının ihtiva ettiği ısı enerjisinin kullanılmasıyla yükseltilebilir. Yani ideal olarak ısı prosesinde dışarıya atılan ısı tekrar aynı proseste kullanılır hale getirilmesi önemlidir. Çoğu kez baca gazlarından yararlanılarak yakıtın kurutulması veya yanma havasının ısıtılması yollarına başvurulur.

Yanma havasının ısıtılmasıyla sağlanacak yakıt tasarrufunu bulmak istersek;

* Herhangi bir ocakta yanma havası ısıtılmadığı halde gerekli yakıt sarfi;

Q : Gerekli olan ısı

a_b : Özgül baca gazı miktarı

c_{pb} : Baca gazı özgül ısı

θ_b : Baca gazının sıcaklığı

θ_a : Teorik alev sıcaklığı

olmak üzere,

$$B_0 = \frac{Q}{ab \cdot C_{pb} (\theta_a - \theta_b)} \quad (1)$$

ifadesiyle belirlidir.

Bu ifadeye göre yakıtın ısı enerjisinin,

$$Q = ab \cdot C_{pb} \cdot (\theta_a - \theta_b)$$

kadar kısmından ocakta faydalanılmaktadır.

* Şayet yanma havası ısıtılarak sıcaklığı 9h değerine yükseltmişse Br gerekli yakıt sarfı,

$$Br = \frac{Q}{a_b (6_{al} - e_b) + L \cdot c_p \cdot h \cdot e_h} \quad (2)$$

olacaktır. (1) ve (2) nolu ifadelerin farkı ise,

$$B_i = B_0 - B_r$$

sağlanan yakıt tasarrufunu vermektedir. Bu fark, yanma havasının ısıtılmadığı haldeki yakıt miktarına bölünürse,

$$e = \frac{B_0 - B_r}{B_0} \cdot 100 = \frac{100}{\frac{(9ap8b) \cdot at \cdot C_{pb}}{L \cdot c_p \cdot h \cdot 9h} + 1}$$

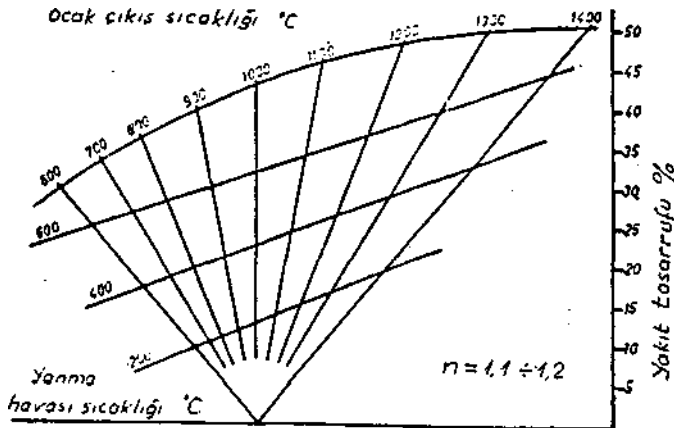
yüzde olarak yakıt tasarrufu bulunmuş olur.

Bulunan son ifade pratik olarak büyük bir yaklaşıklıkla,

$$e = \frac{100}{1,45 \cdot \frac{(1800 - 9_b)}{8h} + 1}$$

şeklinde kullanılabilir, bulunan ifadelere göre sağlanacak yakıt tasarrufunun yanma havasının ısınmasına bağlı olduğu anlaşıyor.

Şekil 6 da verilen diyagramdan yararlanılarak fuel-oil sıvılaştırılmış gaz veya havagazı yakacak kullanılması halinde yanma havasının sıcaklığına göre sağlanacak yakıt tasarrufu bulunabilmektedir.



Şekil 6. Reküperatörlerde sağlanabilecek yakıt tasarrufu

3.EKONOMİZÖRLER VE HAVA ÖN ISITICILARININ SEÇİMİ İÇİN KRİTERLER

Maliyet Analizi

Bir ekonomizörün veya hava ısıtıcısının kuruluş maliyeti ve toplam yakıt tasarrufu, devamlı olarak birbiriyle bağlantılıdır. Bununla beraber ilave ısıyı geri kazanımın ekonomik olmasının ötesinde bir husus olacaktır, geri ödeme ödeme süresinin hesabı aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

Ekipmanların fiyatı

Geri ödeme süresi =

Yıllık tasarruf

Isıyı geri kazanım ünitesinin fiyatı, pompalar ve kualluş fiyatı, ekipmanların fiyatının içersindedir. Yıllık tasarruf, en az işlemle tasarruf edilen yakıt fiyatı ve ekipmanların bakım fiyatlarıdır

Kazan/Ocak Büyüklüğü

Araştırmalar gösteriyor ki ayda 2400 S dan daha az yakıt tüketen 1 tonluk kazan için ekonomizörün fiyatı yaklaşık 4000 \$ olacaktır ve geri ödeme periyodu (amortisman zamanı) 3 yıldan daha fazla olacaktır (yıllık tasarruf yaklaşık 1200 \$). Aynı yakıt değeri ile, bir hava ön ısıtıcısı için geri kazanım periyodu 5 yıldan daha fazla olacaktır. Bundan sonra daha az büyüklükteki kazanlar ve ocaklarda ekonomiklik açısından elverişli olmayacaktır Bir tonun üzerindeki ve aylık yakıt faturası 2400 S civarındaki kazanlara ekonomizör uygulanabilir. Geri ödeme periyodu (amaortisman) ve tasamıflar çalışma saati, giriş suyu sıcaklığı ve baca gazı sıcaklığı gibi faktörlere bağlıdır. 4000 saat/yıl civarında çalışan 7,5 tonluk bir kazan için, ekonomizör fiyatı 24000 S civarında olacaktır ve yıllık tasarruf edilen yakıt değeri 16000 S civarı olacaktır. Bu durumda geri ödeme periyodu 1,5 yıldır.

4.SONUÇ:

Endüstride çeşitli amaçlar için kullanılan ocaklarda yakıtın yanmasıyla verilen ısı enerjisinin bir kısmı kullanma amacı için kullanılırken bir kısmı da çeşitli yollarla kaybolur. Isı enerjisinin kaybı genellikle ocağın yüzeylerinden dış ortama doğal ısı taşınımı veya ısı ışıınımı yoluyla ve en önemli kayıp ise baca gazları yoluyla olur.

Bilindiği gibi ülkemiz enerji ihtiyacının büyük bir bölümü dış kaynaklardan karşılanmakta, gelişmeye paralel olarak artan enerji talebi ile döviz olarak ödenen enerji faturası da artmaktadır. Bu durumda daha enerji ile aynı işi yapmak üzere çaba harcamak, enerjiyi daha akılcı kullanmak gerekir.

Enerji tüketiminden tasarruf yaparak ülke çapında sağlanacak yararın yanında, sanayi işletmelerinin bir çoğunda enerji giderlerinin, toplam giderler içerisinde önemli bir paya sahip olması nedeniyle, işletmenin sağlayacağı kazançlarda gözardı edilmemelidir. Ayrıca daha az enerji ile üretimin yapılmasının güncel bir sorun olan çevre kirliliğinin azalmasına da katkıda bulunacağı bir gerçektir. İşte bu nedenlerle tasarruf çalışmalarına ağırlık verilmesi büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

İM Isı Değiştiricileri, Prof Dr. Alpin Kemal DAĞSÖZ, 1985

121 2. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Cilt II, 1995.

III Waste Heat Recovery ENERCON Islamabad, Pakistan, 198S.

/4/ Buhar Kazanları, Prof.Dr. Osman GEN'CEÜ, 1990.