

BİR ENDÜSTRİYEL TAV FIRININDA ATIK ISININ ENERJİ TASARRUFU ve VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Buğra Kağan SARP KAYA¹, Prof. Dr. Hüsamettin BULUT²

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa,
ORCID ID: 0000-0002-6327-2528.

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa,
ORCID ID:0000-0001-7123-1648.

ÖZET

Endüstriyel fırınlar, sanayi tesislerinde en çok enerji tüketen sistemlerdir. Çünkü enerji maliyeti, endüstriyel fırınların olduğu sistemlerde hammaddeden sonra en büyük girdidir. Endüstriyel işletmelerde, yüksek sıcaklıkta çalışan tavlama fırınları, yakıt tüketimi ve atık gazlarının çevreye yaptığı kirliliği azaltma açısından mümkün olduğunca verimli çalıştırılması gereken sistemlerdir. Enerji maliyetlerindeki artış, sanayi tesislerinde atık ısının enerji yönetiminde önemli bir konusu yapmıştır. Atık ısıdan ısı geri kazanımı ve önemli enerji tasarrufu elde etmek için ekonomizer, reküperatör ve Organik Rankine Çevrimi (ORC) gibi sistemler kullanılabilir. Sistemlerin doğru ve ekonomik çalışabilmesi için öncelikle atık ısının ve sistemlerin enerji ve ekonomik analizinin yapılması ve atık ısının değerlendirilebileceği yerlerin belirlenmesi ve uygulanacak sistemlerin ekonomik analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, bir yassı yapısal çelik üretim tesisinde bulunan endüstriyel tav fırınının atık gazından yararlanacak ısı geri kazanım sistemleri incelemiş ve reküperatörden elde edilen yakma havasının tav fırınında enerji tasarrufu ve verimliliği üzerine etkisini belirlemek için enerji ve ekonomik analizinin yapılması planlanmıştır. Tav fırının atık gazının reküperatörden kullanılarak yakma havasının 450 °C'den 700 °C'ye çıkarılması sonucunda verimde %8,44 artış sağladığı ve bunun yıllık doğalgaz tüketiminde parasal karşılığı yaklaşık 7 Milyon USD olduğu görülmüştür. Reküperatördeki yapılan iyileştirmenin geri ödeme süresinin bir yıldan daha az olduğu tespit edilmiştir. Doğalgaz kullanımındaki düşüş ile çevreye olan CO₂ salınım değerlerindeki azalma belirlenmiştir. Değişik çalışma şartları için reküperatörün etkinliği hesaplanmıştır. Tav fırını atık gaz çıkış sıcaklığı ve yakma havasındaki istenen sıcaklığın reküperatör etkinliğinde önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Sonuç olarak reküperatörden elde edilen daha yüksek sıcaklıktaki yakma havasının doğalgaz tüketimini azalttığı ve tav fırınında önemli enerji tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tav Fırını, Enerji Verimliliği, Reküperatör.

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte insan hayatına kolaylık getirmiştir. Enerji insan hayatında var olan ve kullanımı her alana yayılan bir unsurdur. Her alanda kullandığımız ve zorunluluk haline gelen enerjiye olan ihtiyacımız, enerjiye bağımlı hale geldiğimiz işaretidir. Enerjinin yeteri kadar olmaması ve dünyada enerjiye olan ihtiyacının talebiyle birlikte, enerjinin verimli olarak harcanması konusunda yapılan bilimsel çalışmalarda artmaktadır. Bütün Devletler enerji tüketimini bilinçlendirmek için çalışmalarını arttırmışlardır. Bilim adamları enerjinin farklı yollarla üretimi konularını tekrar ele alarak ve az sayıda enerji kaynaklarının bulunmasından dolayı enerji verimliliği ve tasarrufu konusunda çalışmalarına önem vermişlerdir. [1].

Ülkelerin enerji üretimi, enerji ihtiyacı ve enerji verimliliği durumları gelişmişlik unsurlarından biridir. Gelişmiş ülkelerin enerji ihtiyaçlarında, demir-çelik endüstrisinin yüksek enerji tüketiminden dolayı önemi artmaktadır. Çelik, inşaat, enerji, taşımacılık ve yassı mamul sanayileri (otomotiv, beyaz eşya, boru vb.) birçok farklı alanlarda kullanılan ham maddelerdendir. Demir-Çelik endüstrisi de dünya genelinde enerji ihtiyacı en çok olan sektörlerin başında gelir [2].

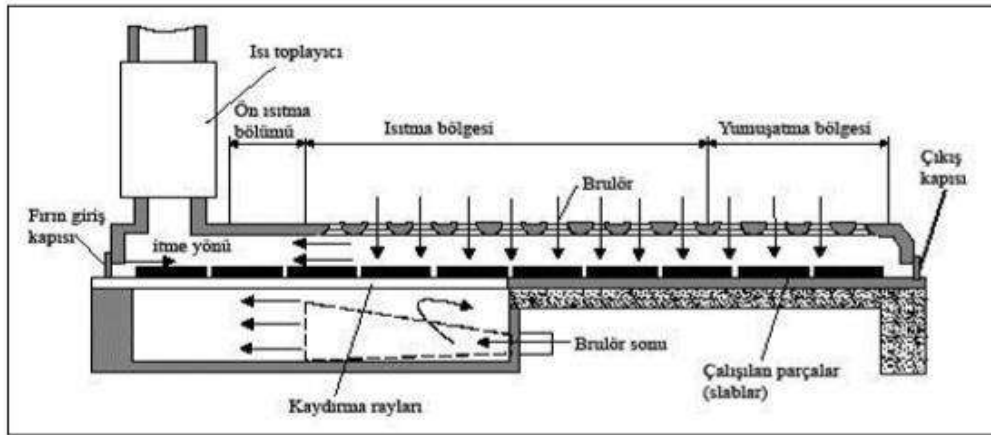
Demir ve çelik endüstrisi yıl bazında yaklaşık olarak 24 EJ (24×10^{18} J) enerji kullanımıyla en çok enerji tüketen sektördür. Demir ve çelik sektöründe kullanılan enerji miktarı dünyadaki toplam enerji miktarının %5'idir. Bu sektörde üretim için harcanan paranın %27~33'lük kısmı enerji olarak görülmekte ve bu maliyetlerin azaltılması konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Endüstriyel fırınlar, yüksek sıcaklıklarda uygulanan ısı işlem fırınları, endüstriyel sektörlerde yakıt tüketimi ve atmosfere gönderdiği emisyonlar bakımından mümkün olduğunca verimli çalıştırılması gerekli uygulamalardır [3].

Bu çalışmada yassı yapısal çelik üretim tesisinde bulunan endüstriyel bir tav fırınında enerji verimliliği ve tasarrufu yöntemleri açıklanmış ve atık gazından ısı geri kazanımı için kullanılan bir reküperatörün enerji ve ekonomik analizinin yapılması amaçlanmıştır.

2. ENDÜSTRİYEL TAV FIRINI

2.1. Tav Fırını Özellikleri

Demir Çelik haddehanesinde gerçekleştiren sıcak haddeleme prosesinde çelik kütük, slab ve blumla 1150 ile 1250 °C' ye kadar ısıtılarak tavlanylabilir. Kütük, slab ve blumlar tav fırınında tavlanylabilir prosesin sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için plastik şekil verme sıcaklığına kadar çıkarılıp haddelenerek şekillendirilmektedir. Malzemede istenilen plastik şekil vermenin sağlanabilmesi için tav fırınında ürünlerin homojen tavllanması gerekmektedir. Malzemeye eşit ısıyı dağıtabilmek için tav fırınları Ön ısıtma bölgesi, ana ısıtma bölgesi (tav bölgesi), ve dinlendirme (cehennemlik) olmak üzere 3 ana bölümden oluşmaktadır. Tav fırını ana bölgelerindeki ihtiyaç duyulan ısı enerji ihtiyacı brülörler sağlamaktadır. Brülörler petrol ürünlerinden (doğalgaz, fueloil vb.) yakıtlarla çalışıp tav fırınında istenilen ısı enerjisi sağlayıp yarı mamüllerin istenilen homojen tavlama sıcaklığına ulaşmasını sağlar. Tav fırını içerisindeki yarı mamül çelikler hareketli taban yardımıyla hareket etmektedir [4]. Görsel 2.1. yürüyen tabanlı tav fırınının iç yapısı ve Görsel 2.2 'de ise dıştan görünümü verilmiştir.



Görsel 2.1. Yürüyen Tabanlı Tav Fırını [5].



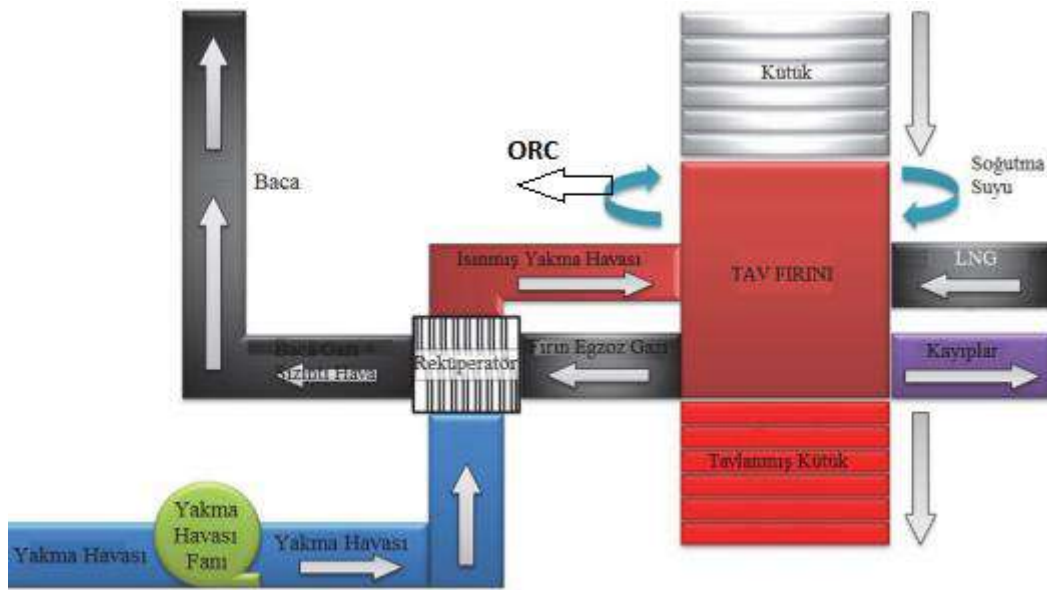
Görsel 2.2. Tav Fırını [6].

Tav fırının kapasitesi, 1 saatte tav fırınında tavlayabileceği çelik tonajına göre hesaplanır. Tav fırının kapasitesi 250 ton/saat olup boyu 43 metre genişliği 10 metredir. Fırında yakıt olarak kalori değeri 8300-8700 kcal/Nm³ olan doğalgaz kullanılmaktadır.

2.2. Tav Fırınındaki Enerji Verimliliği ve Potansiyeli

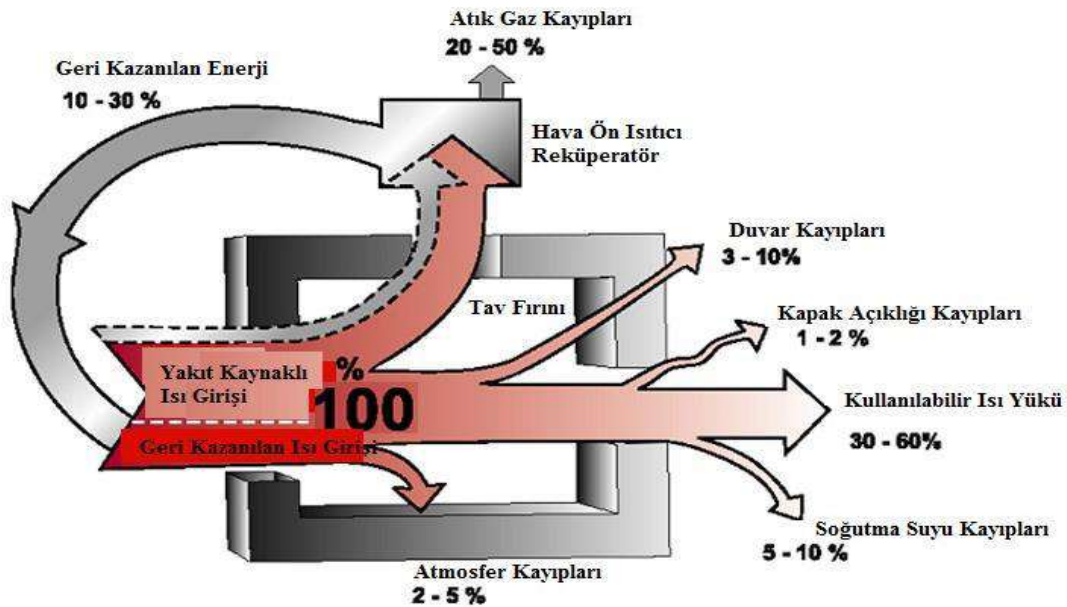
Tav fırınlarında sıcak haddelemesi yapılmak üzere ısıtılan yarı mamulün enerji maliyetlerinde ilk sıralarda yer aldığı bilinmektedir. Bu sebepten dolayı fırınların enerji verimliliği, atık ısı kazanım sistemleri çalışmaları yapılmaktadır. Örnek olarak baca gazı ile atmosfere atılan egzoz gazlarının geri kazanımı için Organik Rankine Çevrimleri (ORC), yakıt hava sıcaklığının artırılması için reküperatör vb. uygulamalar tav fırınlarına sıklıkla entegre edilmektedir. Bu yöntemlerin benzer sektörlere uygulanması ile Avrupa'da yaklaşık olarak yıllık 20.000 GWh'e kadar termal enerjinin geri kazanılabildiği hesaplanmıştır [7].

Tav fırınındaki yürüyen tabanın alt kısmındaki ısıdan enerji kazanımı ve çalışma prensibi görsel 2.3'te verilmiştir. Reküperatör kısmından yakıt besleme havasına ön ısıtma yapılmaktadır, soğutma suyu kısmı ise yürüyen tabanlı fırının içerisindeki sabit ızgaraların içine yerleştirilmiş borular aracılığıyla elde edilen buhar ORC ünitesine gönderilmektedir.



Görsel 2.3. Tav fırını çalışma prosesi [8].

Görsel 2.4'deki Sankey diyagramında Tav Fırındaki ısı kayıpları gösterilmiştir. Diyagramdan en yüksek enerji miktarının hammaddeye aktarıldığı (%30-%60) ve en yüksek ısı kaybının (%20-%50) ise bacadan çevreye atılan atık gazlardan olduğu görülmektedir. Atık gaz ısısının reküperatörde ısı geri kazanımı yapılarak tav fırınının brülörlerine daha sıcak yakma havası ile %10- %30 arasında ısı geri kazanımı alınmaktadır [9].



Görsel 2.4. Tav fırını ısı kayıplarının Sankey diyagramında gösterimi [9].

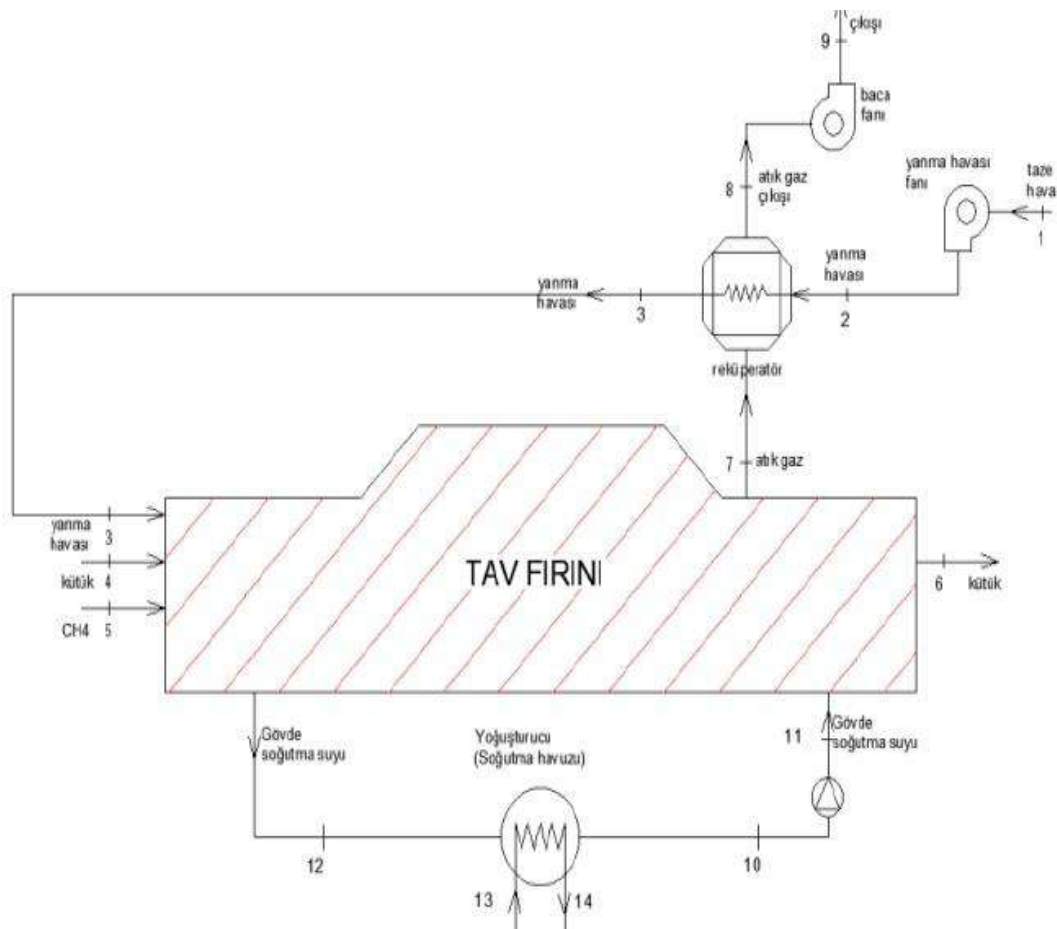
2.3. Tav Fırımlarında Enerji Verimliliği Etkileyen Faktörler

Yakıt sanayi tesislerinin üretim maliyetlerinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır, elektrik ve yakıt maliyetleri sürekli artma eğilimindedir, bu sebepten dolayı enerji tasarrufu zorunluluk

haline gelmiştir. Sürekli fırınlar, yığın fırınların harcamış olduğu yakıt açısından daha verimlidirler. Bunun sebebi proses durmadığı için soğuma ve ısınma kayıpları yaşanmaz [10]. Yakıt çeşidi, hava-yakıt oranı, eksik yanma, baca atık gazı sıcaklığı, yakma havası, duvarlardaki kayıplar, tufal kayıpları, soğutma suyu kayıpları, açıklık kaybı ve kütük giriş sıcaklığı tav fırınlarındaki ısı verimi etkileyen en temel parametrelerdir.

3.TAV FIRININDAKİ MEVCUT REKÜPERATÖR VERİMİNİN ARTTIRILMASININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

250 ton/h ısıtma kapasitesine sahip olan fırında yakıt olarak ısı değeri 8300-8700 kcal/Nm³ olan doğal gaz kullanılmaktadır. Yakma havası 4 adet 58902 m³/h kapasiteli fandan temin edilmektedir. Yakma havası baca kanalındaki reküperatörlerde ısıtıldıktan sonra burnerlere (yakıcılara) gönderilir. Normal çalışma şartlarında 2 fan devrededir. Diğer iki fandan birisi yedek, 4 nolu fan ise acil durumda devreye alınmak üzere stop durumda bekletilir. Tav fırının akış diyagramı Görsel 3.1 'de gösterilmektedir.



Görsel 3.1 Tav fırını akış diyagramı [4].

Rekuperatör, bacadan atılan egzoz gazındaki atık ısıyı yakma havasına aktarıldığı ısı değiştiricilerdir. Rekuperatörde yakma havası boru demetleri içinden geçerken, baca gazı bu borular arasından aynı veya karşıt akışlı doğrultuda geçebilirler. Tav fırınının ısı verimi, atmosfere atılan egzoz gazının ısı enerjisinin yakma havasına transfer edilmesiyle artırılır. Tav

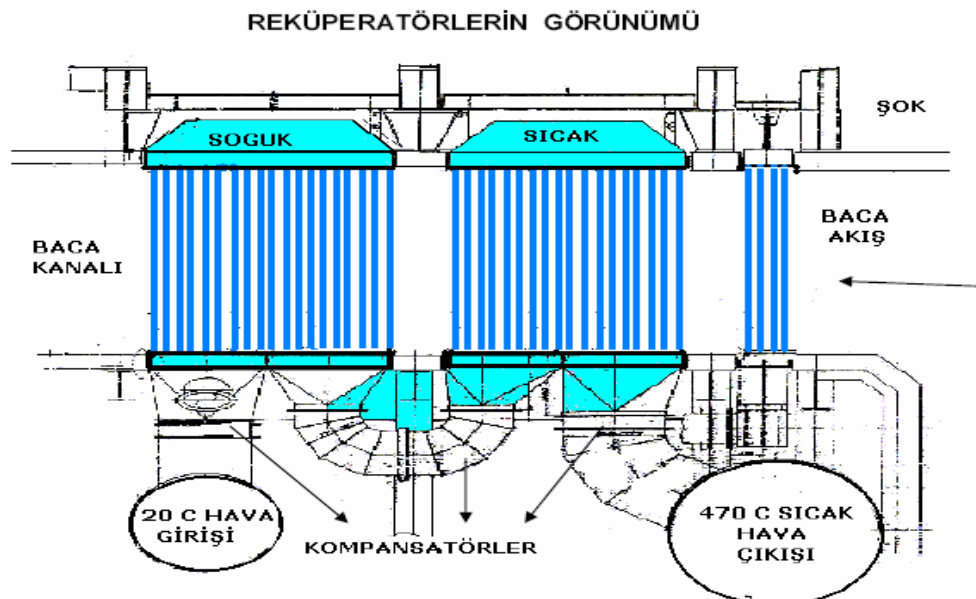
fırınındaki yanma sıcaklıkları üretim prosesine ve kapasitesine bağlı olarak değişebilir. Yüksek sıcaklıkta çalışan fırınlarda yakma havasının sıcaklığı arttıkça yanma için tutuşma süresi azalması ile yakıt tüketimi de azalacaktır.

Çizelge 3.1'de atık gaz sıcaklığının artmasına bağlı olarak yakma havası sıcaklığının artmasıyla yakıt tasarrufundaki artış görülmektedir. Fakat bu sistemler için reküperatörün yüzey alanı artacağından yeterli alan olması gerekmektedir.

Çizelge 3.1. Atık gaz ve yakma havası sıcaklığının ısı verime olan etkisi [11].

Atık Gaz Sıcaklığı(°C)	Yakma Havası Sıcaklığı (°C)				
	204	316	427	538	649
1427	%22	%30	%37	%43	%48
1316	%18	%26	%33	%38	%43
1204	%16	%23	%29	%34	%39
1093	%14	%20	%26	%31	%36
982	%13	%19	%24	%29	%33
871	%11	%17	%22	%26	%30
760	%10	%16	%20	%25	%28

Kanal tipi reküperatörlerde akışkanlar birbiriyle karışmaması için belirli aralıklarla tasarlanmış boru demetlerinden oluşmaktadır. Egzoz gazları boruların dış yüzeyinden geçerken temiz hava (yakma havası) boruların içinden geçmektedir. Yakma havası Görsel 3.2'de görüldüğü gibi fan yardımıyla yüksek basınçla reküperatöre gönderilir. Egzoz gazıda atmosfere gönderilmeden önce reküperatöre gönderilerek boruların dışından geçerek sahip olduğu ısıyı boruların içinden geçen yakıt havasına transfer eder. Isınan yakıt havası fırının girişinde bulunan yakıcılara gönderilir.



Görsel 3.2. Kanal tipi Reküperatör

Atık gaz ile ilgili olarak; toplam baca atık gazı, sistemde iki adet baca gazı çıkış kanalı, her kanalda iki adet reküperatör olmak üzere toplam 4 adet reküperatör bulunmaktadır.

Tav fırınının üretim kapasitesine bağlı olarak egzoz ve yakma havası gaz debisi, basınç düşüşleri, reküperatöre giren yakma havası ve egzoz gazının giriş-çıkış sıcaklık değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Reküperatör Giriş-Çıkış Verileri

Ölçüm Verileri	Normal	Maksimum	Birim
Egzoz gazı debisi	61096.2	65000	m ³ /h
Egzoz gazı giriş sıcaklığı	650	800	°C
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	420	450	°C
Egzoz gazı basınç düşüşü	11	16	mmSS
Ön ısıtılacak yakma havası debisi	55542	58000	m ³ /h
Yakma havası giriş sıcaklığı	20	35	°C
Yakma havası çıkış sıcaklığı	400	450	°C
Yakma havası basınç düşüşü	280	380	mmSS

Çizelge 3.2'den görüldüğü üzere yakma havası çıkış sıcaklığı 450 °C olabileceği ve daha yüksek sıcaklıklarında bir potansiyel oluşturacağı öngörülmüştür. Kayıplar ihmal edilerek mevcut sistem üzerinden iyileştirme potansiyelini belirlemek için yakma havası çıkış sıcaklığı 700 °C yapıldığında enerji verimliliği ve tasarrufu EES(Engineering Equation Solver) programıyla hesaplanmıştır. Çizelge 3.3'te ön görülen sistem için veriler verilmektedir.

Çizelge 3.3 Reküperatör mevcut ve ön görülen değerler

Ölçüm Verileri	Birimler	Mevcut verimlilik	İyileştirme Önerisi sonrası
Tasarruf Oranı	%	21.52	30.19
Yakıt Alt ısı değeri	kcal/Nm ³	8300	8300
Hava Yakıt Oranı	Nm ³ / Nm ³	9.874	9.874
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	450	700
Havanın Özgül Isısı	kcal/Nm ³ K	0.3204	0.3248
Yakıt Baca Gazı oranı	Nm ³ / Nm ³	10.893	10.893
Baca Gazı Giriş Sıcaklığı	°C	800	800
Baca Gazı Özgül Isısı	kcal/Nm ³ K	0.3567	0.3567

Sistem kabulleri ve hesaplamaları görsel 3.3 'deki gibidir. EES çözümleri Görsel 3.4'de verilmiştir.

$$HU = 8300 \text{ [kcal/Nm}^3\text{]} \text{ Yakitin alt ısı değeri}$$

$$Hava_{yakıt,orani} = 9,874$$

$$Cp_{Hava,1} = 0,3204 \text{ [kcal/Nm}^3\text{·K]}$$

$$Cp_{Hava,2} = 0,3248 \text{ [kcal/Nm}^3\text{·K]}$$

$$Cp_{Baca,1} = 0,3567 \text{ [kcal/Nm}^3\text{·K]}$$

$$Atıkgaz_{yakıt,orani} = 10,893$$

$$T_{YHG} = 35 \text{ [C]} \text{ Yakıt hava gazinin reküperatöre giriş sıcaklığı}$$

$$T_{YHC,1} = 450 \text{ [C]} \text{ Yakıt hava gazinin reküperatörden çıkış sıcaklığı}$$

$$T_{YHC,2} = 700 \text{ [C]} \text{ Yeni Reküperatör havanın ön görülen çıkış sıcaklığı}$$

$$T_{BGG} = 800 \text{ [C]} \text{ Baca gazı reküperatöre giriş sıcaklığı}$$

$$T_{BGÇ} = 450 \text{ [C]} \text{ Baca gazı reküperatöre çıkış sıcaklığı}$$

mevcut ve ön görülen reküperatörün verimi

$$\eta_{reküp,1} = \left[\frac{Hava_{yakıt,orani} \cdot Cp_{Hava,1} \cdot T_{YHC,1}}{HU + Hava_{yakıt,orani} \cdot Cp_{Hava,1} \cdot T_{YHC,1} - Atıkgaz_{yakıt,orani} \cdot T_{BGG} \cdot Cp_{Baca,1}} \right] \cdot 100$$

$$\eta_{reküp,2} = \left[\frac{Hava_{yakıt,orani} \cdot Cp_{Hava,2} \cdot T_{YHC,2}}{HU + Hava_{yakıt,orani} \cdot Cp_{Hava,2} \cdot T_{YHC,2} - Atıkgaz_{yakıt,orani} \cdot T_{BGG} \cdot Cp_{Baca,1}} \right] \cdot 100$$

Tasarruf Tutarı verileri

$$harcanan_{gaz} = 9422 \text{ [Nm}^3\text{/saat]} \text{ firinin 12 aylık çalışma süresince günlük 18 saat ve üzeri çalışmalarındaki ortalama saatlik tüketimi}$$

$$calisma_{saati} = 20 \text{ [saat/gün]}$$

$$calisma_{gunu} = 300 \text{ [gün/yıl]}$$

Tasarruf Tutarı mevcut

$$yillik_{gaz} = harcanan_{gaz} \cdot calisma_{saati} \cdot calisma_{gunu} \cdot \left[\frac{\eta_{reküp,2} - \eta_{reküp,1}}{100} \right]$$

etkinlik hesaplanması

$$\varepsilon_{mevcut} = \frac{T_{YHC,1} - T_{YHG}}{T_{BGG} - T_{YHG}}$$

$$\varepsilon_{öngörülen} = \frac{T_{YHC,2} - T_{YHG}}{T_{BGG} - T_{YHG}}$$

Görsel 3.3. EES (Engineer Equation Solver) denklemlerinin gösterimi.

SOLUTION

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$$\text{AtıkgazYakıt,orani} = 10,89$$

$$\text{calisma_saatı} = 20 \text{ [saat/gün]}$$

$$\text{CpBaca,1} = 0,3567 \text{ [kcal/Nm}^3\cdot\text{K]}$$

$$\text{CpHava,2} = 0,3248 \text{ [kcal/Nm}^3\cdot\text{K]}$$

$$\varepsilon_{\text{öngörülen}} = 0,8693$$

$$\eta_{\text{reküp,2}} = 30,19 \text{ [\%]}$$

$$\text{HavaYakıt,orani} = 9,874$$

$$\text{T}_{\text{BGG}} = 800 \text{ [C]}$$

$$\text{T}_{\text{YHG}} = 35 \text{ [C]}$$

$$\text{T}_{\text{YHÇ,2}} = 700 \text{ [C]}$$

$$\text{yilliktasarruf} = 6834697,533 \text{ [$/YIL]}$$

$$\text{calisma_günü} = 300 \text{ [gün/yıl]}$$

$$\text{Co2,salinimi} = 13475 \text{ [ton]}$$

$$\text{CpHava,1} = 0,3204 \text{ [kcal/Nm}^3\cdot\text{K]}$$

$$\varepsilon_{\text{mevcüt}} = 0,5425$$

$$\eta_{\text{reküp,1}} = 21,52 \text{ [\%]}$$

$$\text{harcanan_gaz} = 9422 \text{ [Nm}^3\text{/saat]}$$

$$\text{HU} = 8300 \text{ [kcal/Nm}^3\text{]}$$

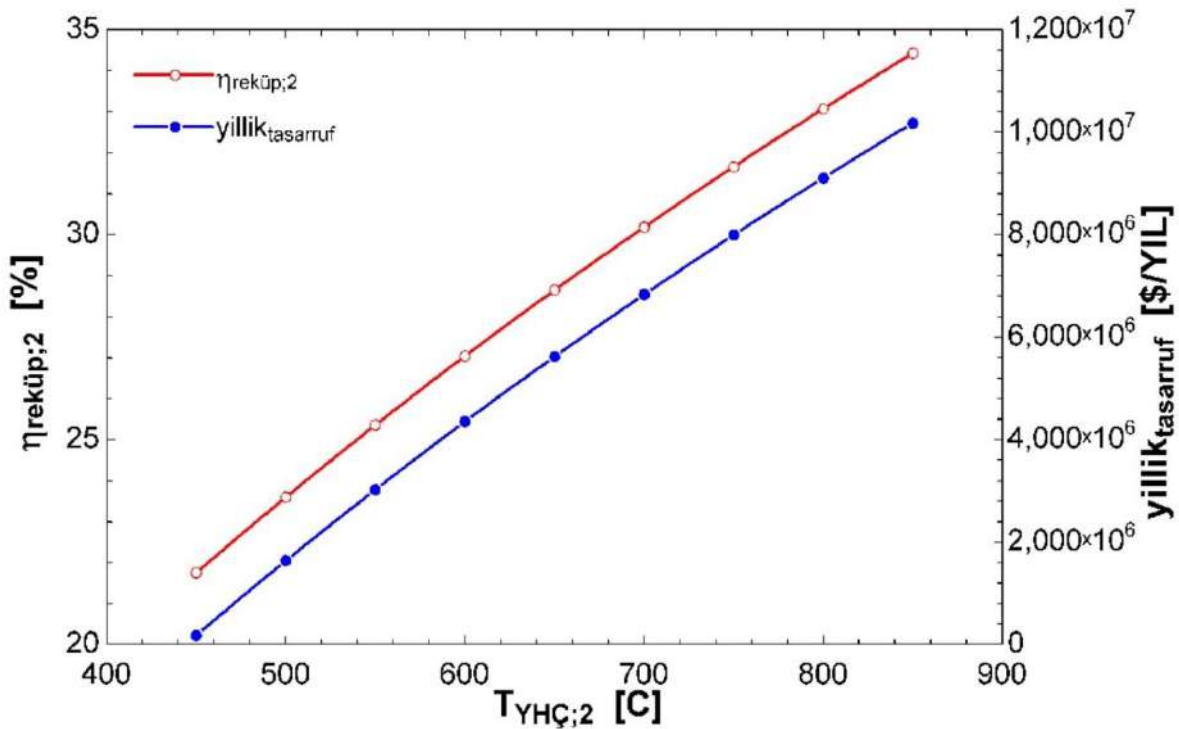
$$\text{T}_{\text{BGÇ}} = 450 \text{ [C]}$$

$$\text{T}_{\text{YHÇ,1}} = 450 \text{ [C]}$$

$$\text{yillik_gaz} = 4899952,385 \text{ [Nm}^3\text{/yıl]}$$

Görsel 3.4. Çözümleme sonuçları

Görsel 3.4'ten görüldüğü üzere yakıt hava çıkış sıcaklığını 250 °C arttırmanın tav fırınındaki doğalgaz tüketimine yıllık yaklaşık olarak 7 Milyon \$ olarak yansıdığı görülmektedir. Yakıt hava çıkış sıcaklığının reküperatör ısı verimi ve yıllık tasarrufuna olan etkisinin grafiği Görsel 3.5'de görülmektedir. Grafikten de görüldüğü üzere yakıt hava çıkış sıcaklığının artması reküperatör ısı verimini ve yıllık tasarruf miktarını arttırmıştır.



Görsel 3.5. Yakma havası sıcaklığının ısı verime ve yıllık tasarrufa etkisi

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada incelenen yassı yapısal çelik üretimi yapan sanayi kuruluşuna ait 250 ton/saat kapasiteli haddehane tav fırınında enerji verimliliğinin incelenmesi ve mevcut sistemlerdeki önerilen değişikliklerle elde edilen tasarruf potansiyelleri özet halinde sunulmuştur.

Haddehane tav fırını verim kayıpları; hava-yakıt oranı, eksik yanma, baca atık gazı sıcaklığı, yakma havası, duvarlardaki kayıplar, tufal kayıpları, soğutma suyu kayıpları, açıklık kaybı ve kütük giriş sıcaklığı tav fırınlarındaki ısı verimi etkileyen en temel parametrelerdir.

Mevcut sistemdeki yakma havası çıkış sıcaklığı 450 °C olarak görülmektedir. Mevcut sistem üzerinden iyileştirme potansiyelini oluşturulmaya çalışıldığında yakma havası çıkış sıcaklığını 700 °C'lik yeni reküperatör tasarımı sonrası ön görülen enerji verimliliği ve tasarrufu değişimi EES programı ile yapılmıştır. Bu kapsamda sistem ısı veriminde %8.44'lik bir artış olabileceği tespit edilmiştir. Bu ısı verimindeki artışa karşılık gelen tasarruf miktarı yani yakıt hava çıkış sıcaklığını 250 °C arttırmanın tav fırınındaki doğalgaz tüketimindeki azaltmanın yıllık parasal değeri yaklaşık 7 Milyon \$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan bu enerji verimliliği çalışması sonucunda yılda 13475 ton CO₂ emisyon salınımının önleneceği belirlenerek çevre kirliliği azalmış olacaktır.

Tav fırınından atılan egzoz gazlarının atık ısının geri kazanılması için ekonomizerler, atık ısı kazanları, reküperatörler, rejeneratörler, hava ön ısıtıcıları, vb. sistemler ile termodinamik çevrimler kullanılarak güç üretimi elde edilerek enerji verimliliği sağlanabilir.

Yüksek enerjilerin tüketildiği demir-çelik sektöründeki tasarruf yöntemlerinin arttırılması ve atık ısı kaynaklarının geri kazanılması yalnızca sektördeki enerji tasarrufuna ve üretim maliyetlerine katkı sağlamayıp enerjide dışa bağımlı olan ülkemizin cari açığına olumlu etki sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Çengel, Boles, Termodinamik, Mühendislik Yaklaşımıyla, 5. Baskı, Çeviri Editörü: Pınarbaşı, A., Güven Bilimsel, İzmir, 753-757, 764, 2011.
- [2] Si, M., Thompson, S., and Calder, K., Energy efficiency assessment by process heating assessment and survey tool (PHAST) and feasibility analysis of waste heat recovery in the reheat furnace at a steel company. Renewable and Sustainable Energy Reviews,15: 2904–2908, 2011.
- [3] Xu, C. ve Cang, D., A Brief Overview of Low CO₂ Emission Technologies for Iron and Steel Making. Journal of Iron and Steel Research, International, 17: 1-7, 2010.
- [4] Çelik, D., Endüstriyel Bir Tav Fırının Enerji, Ekserji ve Ekonomik Analizi. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 20-21, 2019.
- [5] AB, Demir Haddeleme Prosesinde Mevcut En İyi Teknikler Referans Dökümanı Aralık 2001, Tercüme Demir Çelik Üreticileri Derneği Ankara – Mayıs 2007, 2001.
- [6] SMS group, “<https://www.sms-group.com/plants/all-plants/reheating-furnaces/>”, Erişim tarihi: 08.09.2020.

- [7] Yıldırım, A., Haddehane Tav Fırınında Isı Kayıpları ve Enerji Analizi. İskenderun Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun, 20-21s, 2018.
- [8] Eyidoğan, M., Kaya, D., Dursun Ş. ve Taylan, O., Endüstriyel tav fırınlarında enerji tasarrufu ve emisyon azaltım fırsatları. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi, 29(4), 735-743, 2014.
- [9] Kurbanoglu, A., Demir Çelik Sektöründe Tav Fırını Atık Isısını Isı Kaynağı Olarak Kullanan Organik Rankine Çevriminin Termodinamik Analizi. İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay, 27-28s, 2017.
- [10] Trinks, W., Mawhinney, M. H., Shannon, R. A., Reed, R. J. ve Garvey, J. R., “Industrial Furnaces, 6th Edition”, John Wiley and Sons, USA, 1, 2004.
- [11] Waste Heat Recovery Technology and Opportunities in U.S. Endüstri-, https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf, Erişim Tarihi: 10.11.2021
- [12] Örenay, S., Sanayi Fırınlarında Merkezi Reküperatör, Reküperatif ve Rejeneratif Yakıcılar. 3. Enerji Verimliliği Konferansı, 2011.