

REKÜPERATÖR VE REKÜPERATİF BRÜLÖR TEKNOLOJİSİ



TARİH: NİSAN 2019

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	2
2. REKUPERATÖR SINIFLANDIRMA	6
2.1 Konveksiyon Rekuperatörler	6
2.2 Radyasyon Rekuperatörler	6
2.3 Kombine Rekuperatörler	7
2.4 Seramik Rekuperatörler.....	7
2.5 Metalik Rekuperatör ve Rekuperatif Brülörler	7
2.6 Yüksek Verim	9
2.7 Kompakt.....	10
2.8 Yüksek Hızlı Alev	10
2.9 Düşük NOx	10
3. KULLANIM ALANI	11
3.1 Metalik ve Seramik Rekuperatörlerin Kullanımında Bariyerler ve Kısıtlar	11
4. MALİYET KARŞILAŞTIRILMASI.....	15

1. GİRİŞ

Dünyada fosil yakıt tüketimi ve sera gazı karbon dioksit salınımı artarak devam ediyor. Sanayide enerjiyi verimli kullanmak, ekonomik işletmecilik ve kaliteli üretim esastır. Ayrıca sera gazı CO₂ salınımı azaltarak üretim firmaların çevresel kalitesini iyileştirir.

Endüstriyel tesislerde proses ve yanma sonucu açığa çıkan sıcak baca gazları ile önemli miktarda atık ısı atmosfere atılmaktadır. Bu atık ısının belli bir bölümünü işletmenin enerji verimliliği artıracak şekilde ekonomik olarak geri kazanmak ve atık ısıyı enerji verimliliği amacıyla tekrar kullanmak mümkündür.

Atık ısı, fosil yakıtın kullanımının ve sera gazı CO₂ salınımının azaltıldığı muazzam bir enerji kaynağıdır.

Fırınlarda yanma ve proses sonucu ortaya çıkan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları, ısıtılan mamul sıcaklık kadar olabilmektedir. Sıcak egzoz gazları, fırını terk ederken fırına verilen ısının yaklaşık %30-40'ı kadarı bacadan dışarı atılmaktadır.

Atık ısı, geri kazanılarak yanma havasının ön ısıtılmasında kullanılması ile enerji verimliliğinin artırılması, fosil yakıt tüketiminin ve sera gazı karbon dioksit (CO₂) emisyonunun azaltılması açısından fevkalade önemlidir. Bu işlem, rekuperatörler ve rekuperatif brülörlerle basit ve efektif olarak yapılabilmektedir.

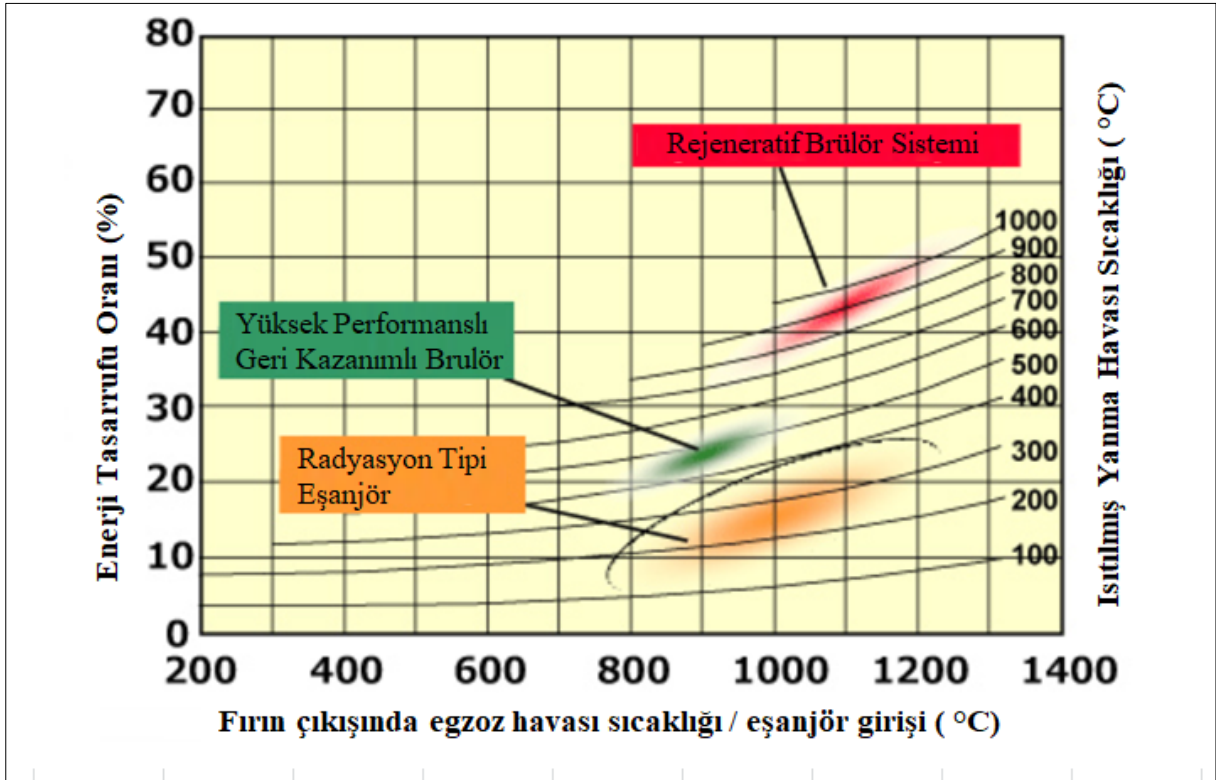
Rekuperatörler ve rekuperatif brülörler, fırının baca kısmına yerleştirilen ve baca gazı atık ısını geri kazanan indirekt temas tipli ısı eşanjörleridir. Çok sayıda tasarım şekli vardır. Yanma sonucu açığa çıkan sıcak egzoz gazı ısı, gelen yanma havasına transfer etmek üzere rekuperatör ve rekuperatif brülördeki borulara veya kanallara verilir. Rekuperatörler ve Rekuperatif brülörler, egzoz gazı ısını yanma havasını ön ısıtma yapmak üzere baca olarak kullanır. Modern geri kazanımlı brülör sistemleri, eski sistemlerden önemli ölçüde daha yüksek verime sahip olduklarından, eski ya da yaşlanmakta olan geri kazanımlı brülörlerin değiştirilmesiyle tasarruf sağlanabilir.

Rekuperatörler ve Rekuperatif brülörler, yanma havasını ısıtmak üzere baca olarak kullanılır.

Hem egzoz gazı hem de brülör memesinin gövdesindeki atık ısı yakalanır ve memeden daha fazla ısı verilir.

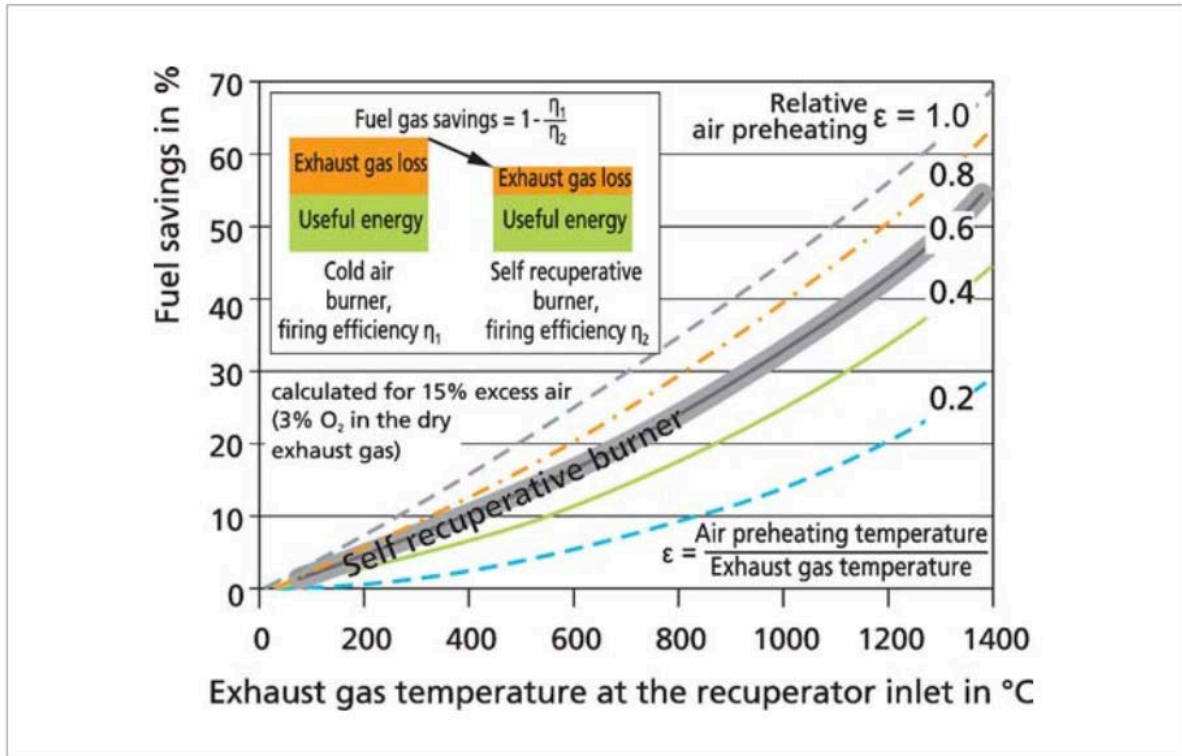
Şekil 1.1, fırın çıkışında ısı değiştirici girişinde egzoz gazı sıcaklığına bağlı olarak ön ısıtmalı hava sıcaklığında enerji tasarrufu verimliliği oranını göstermektedir. Hava ön ısıtmasız bir sistemde, egzoz gazı sıcaklığı kullanılmadığı zaman verimliliğin ciddi oranda azaldığı görülür.

Fırında 900 °C'lik bir proses veya yanma sıcaklığında fırın çıkışı, ısı değiştirme girişinde egzoz gazı sıcaklığı, ön ısıtmalı hava sıcaklığı olarak rekuperatörler ve rekuperatif brülörlerde kullanılırsa, yanma havası 350 °C sıcaklığa kadar ısıtılır ve yanma havası ön ısıtmasız sistemlere göre %30-40 oranında enerji tasarrufu sağlanır.



Şekil 1.1 Isıtılmış Yanma Hava Sıcaklığı ile Enerji Tasarrufu Oranı Arasındaki İlişki, Verimlilik Rekuperatör ve rekuperatif brülörlerde, ortalama 900°C sıcaklıktaki atık ısı, yanma havasını ön ısıtmada kullanılmak üzere alınır, yanma havası rekuperatör ve rekuperatif brülör ortamından geçer, giriş yanma havasına transfer edilir, yani atık ısı giriş yanma havası tarafından geri kazanılacak şekilde tasarlanmıştır. Rekuperatörler ve rekuperatif brülörler, yakma işleminden 900 °C sıcaklıktaki egzoz gazından gelen atık ısıyı yakalamak, yanma havasını ortalama 350 °C kadar ısıtmak için ısı eşanjörlü yüzeyleri ile birleştirerek enerji verimliliğini optimize eder.

Soğuk havaya göre rekuperatif brülör ile enerji tasarrufu Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2 Reküperatif Brülör ile Yakıt Tasarrufu

Rekuperatif brülör sistemi ile, doğrudan yanma havası besleme sistemine göre yaklaşık 1000 °C fırın içi sıcaklığında %33 oranında enerji tasarruf edilmektedir.

Rekuperatif sistemi içeren brülörler, ticari olarak kullanılmaktadır. Bir rekuperatif brülör, brülör tasarımının bir parçası olarak, brülör gövdesinden geçen ısıtılmış gazdan ısıyı alan, ısı değiştirici yüzeylere sahiptir (Şekil 2.2). Brülör, yanma havasını yakıtla karışmadan önce ısıtmak için egzozdan çıkan atık gazın ısını kullanır. Brülörler, atık egzoz gazları ısı ile besleme borusundan gelen yanma havası arasında termal temas sağlamak için kullanılan borular, oluklar, karşı akım akışı ve kanatlar gibi çeşitli özelliklere sahip bir iç ısı eşanjöründen oluşur. Tasarım, hem egzoz gazı hem de atık ısıyı, brülör memesinin gövdesinden toplayarak ve ikisini de yanma havasına aktarmak için kullanarak çalışır. Yanma havasının ön ısıtılması, yanma verimliliğinin artmasına ve böylece nozülde daha fazla ısınmaya neden olur.

Brülör ve nozülün fırın gövdesine yerleştirildiği ve atık ısının, egzoz gazlarından konveksiyonla brülöre aktarıldığı belirtilmelidir. Osaka Gazı, 1000 °C sıcaklığındaki bir fırın için yanma havasını 500 °C'ye kadar ısıtılabilirdiğini ve bu sayede ısı verimin önemli ölçüde iyileştirildiğini göstermektedir. Daha fazla yanma havasını ısıtmak için özel düzenleme gereklidir.

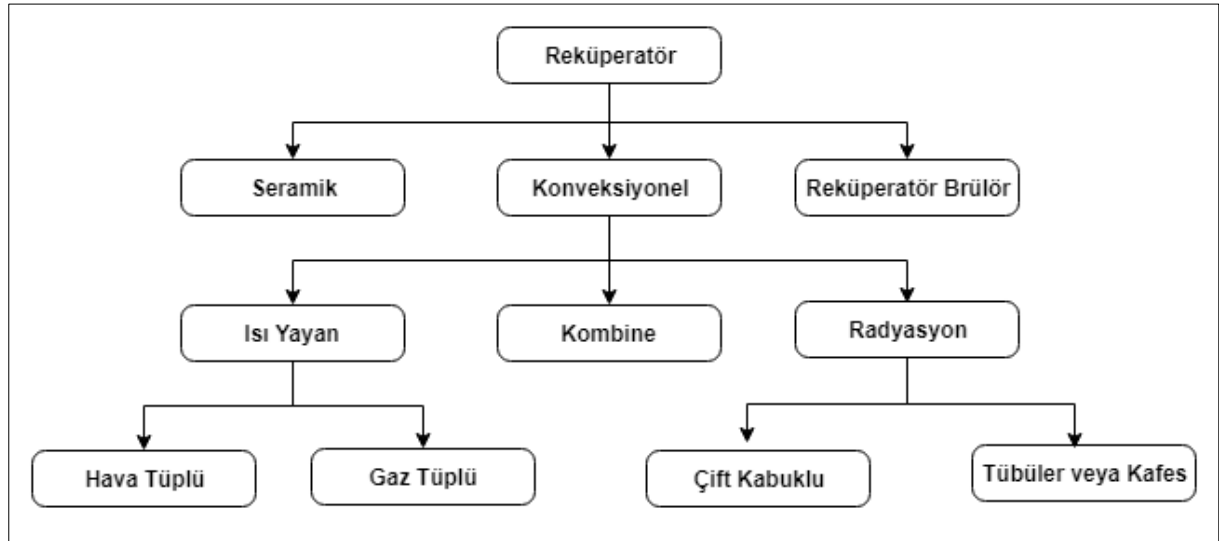
Brülöre verilen yanma havası, önceden ısıtılmış sıcak hava olmak üzere, ısı eşanjöründeki fırından alınan egzoz gazı ile ısı transfer edilir. Ortalama 70 m/sn gibi ortam hızında bir hava memesinden çıkan önceden ısıtılmış yanma havası, alev oluşturmak için fırında yakıt gazı ile karıştırılır, oysa uygulayıcı ile fırından alınan egzoz gazı, boşaltılmadan önce, ısı eşanjöründe ısı transfer edilir.

Rekuperatörlerde, baca gazlarından gelen ısıyı yanma havasına vermeden önce emmek için termal olarak yoğun bir matris kullanılır. Baca gazı miktarı göreceli olarak daha yüksek olduğunda rejeneratörler kullanılır.

Sanayi tipi rekuperatörlerin ömrü 20-30 yıldır.

2. REKUPERATÖR SINIFLANDIRMA

Reküperatörler, reküperatör malzemesine yani metalik veya seramik; baskın ısı transferi modu, yani, taşınım, radyasyon, tüplerin sayısı ve boyutları vb. göre sınıflandırılabilir. Şekil 2.1’de, ticari olarak temin edilebilen rekupertörlerin sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 2.1 Rekuperatörlerin Sınıflandırılması

2.1 Konveksiyon Rekuperatörler

Konveksiyon rekuperatörler, genellikle yanma ortamı sıcaklığı 700-1100 °C olan bacalara yerleştirilir. Hava boru tipi rekuperatörler, dışarıda yüzlerce borunun bulunduğu baca gazının yönlendirme plakaları tarafından yönlendirilen bir takım borudan ibarettir. Gaz boru tipinde, ısı transfer borularının çapı, hava boru tipinden oldukça büyüktür. Hava boru tipi rekuperatörler tozdan kolayca etkilenir. Gaz boru ile karşılaştırıldığında hava boru daha fazla sızdırmaz, fakat daha az kompaktırlar ve borular katı asılı partiküller tarafından aşındırıcı yıpranmaya karşı hassastır.

2.2 Radyasyon Rekuperatörler

Radyasyon rekuperatör tasarımı, yanma ürünlerinde bulunan aydınlık olmayan gazların termal radyasyonuna dayanmaktadır. Bir çift kabuklu radyasyon rekuperatör, her iki ucuna hava giriş ve çıkış başlıkları ile bağlanmış iki eş merkezli metalik kovandan oluşur. Sıcak baca gazı (900-1400 ° C) iç kabuktan, genellikle 0,5 ila 3,0 m çapında geçer. Geçiş sırasında (3-20 m) radyasyonla ısıyı, aynı zamanda bir dereceye kadar konveksiyonla ısıyı verir. Hava, iç ve dış silindir arasında yüksek hızda dar halka şeklindeki boşluktan (0,02-0,1 m) geçer ve bu

nedenle genellikle baca gazı tarafına kıyasla çok yüksek bir yüzey iletkenliği verir, bu da sırasıyla iç kabuk nispeten düşük yüzey sıcaklığının korunmasına yardımcı olur.

Daha büyük kapasiteler ve yüksek basınçlar için boru veya kafes tip radyasyon rekuperatörler kullanılır. Bu tip rekuperatör için, ısıtma yüzeyi daha büyük çaplı dairelere yerleştirilmiş çok sayıda borudan oluşur. Tüm boru demeti (kafes) dahili olarak yalıtılmış bir kabuğa yerleştirilir ve çıkarılabilir.

2.3 Kombine Rekuperatörler

Baca gazı sıcaklığı 600-650 °C'nin altına düştüğünde, gazdan kaynaklanan emisyon o kadar zayıf hale gelir ki ısıtma yüzeyi ekonomik olarak kullanılmaz. Sonuçta ortaya çıkan bir çözüm, radyasyon toplayıcıdan sonra konveksiyon bölümleri tanıtmaktır.

2.4 Seramik Rekuperatörler

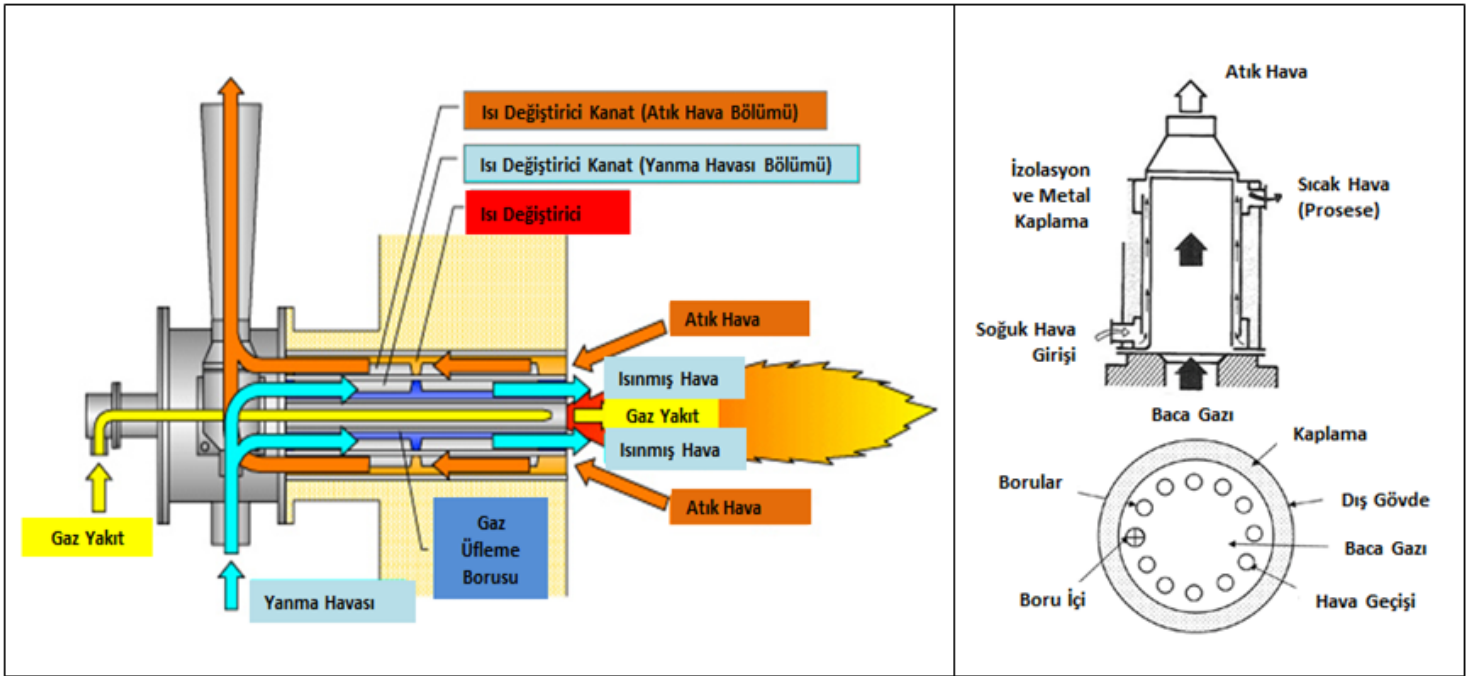
1100 °C'nin üstünde, seramik malzeme kullanımı daha iyi teknolojidir. Dayanıklı ısı eşanjörleri için çözüm ancak kirlenme eğilimlidir. GRI, Chicago, 1300 °C'deki baca gazı sıcaklıklarıyla çalışabilen entegre, seramik ısı eşanjörü geliştirilmiştir. Daha sonra, yüksek performans için seramik lehimli/kaplamalı metal kompozit malzemelerden yapılmış ısı eşanjörü göbeği/matrisi ile ısı eşanjörleri geliştirilmiştir. Bu rekuperatörlerin ana dezavantajı, yüksek termal gerilmelerin neden olduğu boru bağlantı noktalarında hava sızmasıdır. Bu, hava eksikliğine ve yeniden yapılanma için fırının durdurulmasına neden olabilir

2.5 Metalik Rekuperatör ve Rekuperatif Brülörler

Metalik rekuperatif brülörler, düşük ve orta sıcaklıktaki uygulamalar için kullanılır. Yüksek sıcaklıktaki uygulamalarda seramik rekuperatif brülörler kullanılır.

Rekuperatörler, radyasyon, taşınım veya kombinasyonuna dayanır.

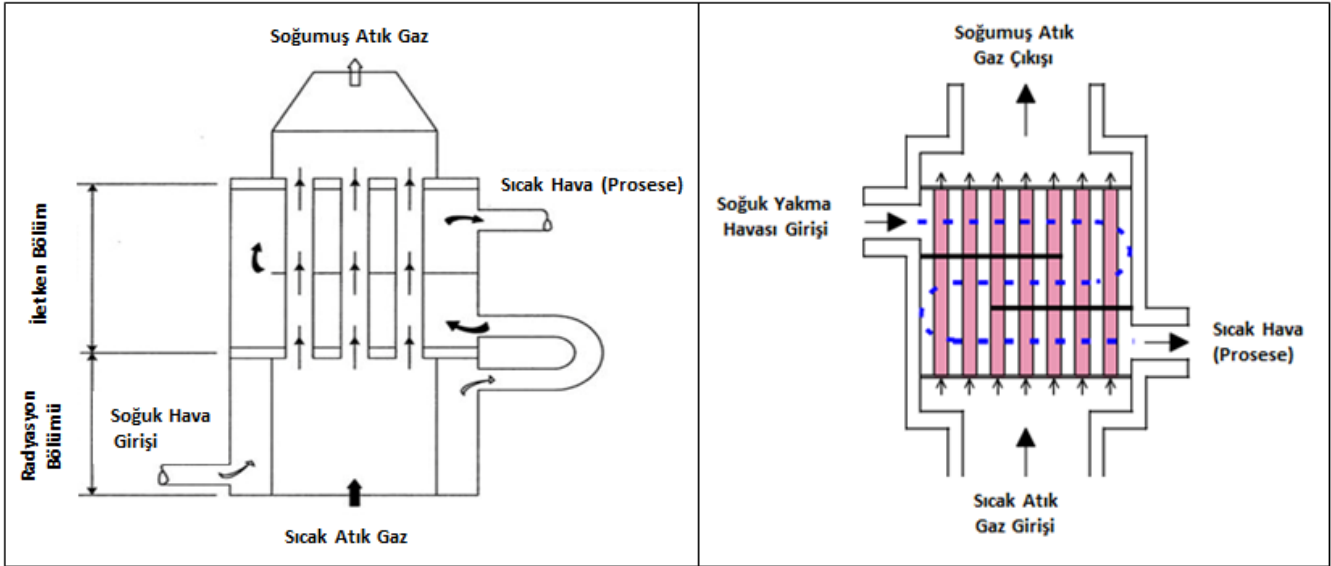
Radyasyon, konveksiyon veya kombinasyonu rekuperatörler, tavlama fırınları, eritme fırınları, yakma fırınları, radyant boruları, brülörler ve yeniden ısıtma fırınlarında kullanılır.



Şekil 2.2 Metalik Rekuperatif Brülör Diyagramı

Şekil 2.2, geliştirilmiş metalik brülör sistemi prensibini göstermektedir. Giriş havasının sıcaklığı, fırında yanmadan önce, ısı değiştirme tekniği ile baca gazı atık ısı ile ısıtılır. Egzoz gazı, brülörün içine monte edilmiş bir ısı eşanjörü ile donatılmış brülörün içinden akar. Brülörün içinde, egzoz gazı atık ısı, brülörün dış tarafındaki alandan geçen yarıktan akmadan önce giriş havasının sıcaklığını değiştirilir ve ısıtır.

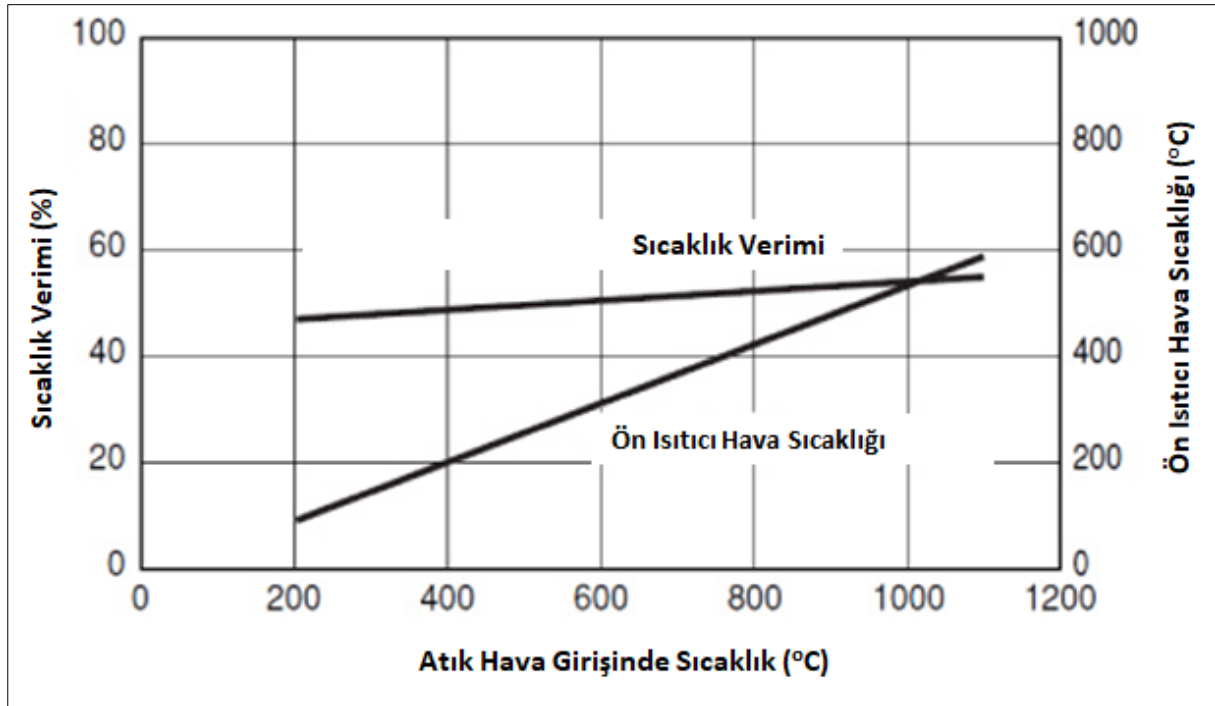
Radyasyon, konveksiyon veya kombinasyonu rekuperatörler, ısı transfer etkinliğini en üst düzeye çıkarabilecek başka bir imkan sunar. Bu teknolojiye, sıcak egzoz gazı daha büyük bir rafa beslenir ve daha küçük çaplı borulara bölünür. Soğuk hava rafın içine ve çevresine beslenir ve bu da ısı transferinde kantitatif bir iyileşme sağlar (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Kombine, Radyasyon ve Konvektif Tipi Rekuperatörler

2.6 Yüksek Verim

Fırın gövdesi içine yerleştirilmiş fırın duvarına yerleştirilen ısı eşanjörü ile, fırın sıcaklığı 1.000 °C 'de önceden ısıtılmış havanın en az 500 °C sıcaklık elde edilebilir.



Şekil 2.4 Egzoz gazı Giriş Sıcaklığı Karşı Sıcaklık Verimliliği

2.7 Kompakt

Isı eşanjörü, fırın gövdesi ile fırın duvarına yerleştirilecek şekilde entegre edildiğinden brülör tarafında herhangi bir çıkıntı olmadan kompakt bir profil elde edilebilir. Egzoz gazı basıncı kaybını düşürmek için simülasyon tekniğimizi kullanarak, yeterli ısı değişim kapasitesini koruyarak ısı eşanjörü kanatçısının şeklini ve boyutu optimize edilir.

2.8 Yüksek Hızlı Alev

Önceden ısıtılmış hava, ısı eşanjörünün uzak ucundaki hava memesinden yüksek hızda çıkarıldığından, fırın içinde daha iyi bir sıcaklık dağılımı sağlamak için yüksek ve etkili hava karışımı elde edilir.

2.9 Düşük NOx

Önceden ısıtılmış havanın yüksek enjeksiyon hızı, gaz memesinin ve hava memesinin uygun aralıklarından dolayı, egzoz gazı ile ısıtılan hava, gaz yakıtla yanmadan önce karıştırılabilir ve daha hafif yanma elde edilebilir. Bunun bir sonucu olarak, önceden ısıtılmış havayı kullanan brülöre rağmen NOx emisyonlarını azaltmak için alev sıcaklığı düşürülebilir.

Rekuperative sistem içeren brülörler, yanma havasını yakıtla karışmadan önce ön ısıtmak için egzoz gazlarının ısını geri dönüştürdüğü için aynı ısı eşanjörleri prensibini kullanır. Bununla birlikte, harici sistemlerden farklı olarak, ısı eşanjörü, brülörün içine yerleştirilmiştir ve çeşitli metalik veya seramik malzemelerden yapılabilir.

Self- rekuperatif brülörler, baca gazları ile besleme borusundan gelen yanma havası arasındaki temas yüzeyini artırmak amacıyla çeşitli teknik cihazlar (oluklar, borular, kanatçıklar, ters akış vb.) kullanır.

Self-rekuperatif yüksek hızlı brülörler, serbest alev, uzun veya düz alevdir, ancak radyant borular için dolaylı ateş versiyonunda da mevcuttur.

Sınırlayan şartlar, brülör ve nozul, fırın gövdesine yerleştirilmelidir; bu, fırının kurulumunu ve ayarını gerektirebilir.

3. KULLANIM ALANI

Isı değiştiricinin bir formu olan rekuperatif brülörler ve rekuperatörler, alüminyum geri kazanımda alüminyum ergitme fırınları, EAF fırınları, haddehaneler, tavlama fırınları, eritme fırınları, fiber glas, metal döküm, yakıcı brülörler, gaz yakma fırınları, radyan borulu brülörler, tekrar ısıtma fırınları, polimer sanayi, cam ergitme fırınları, gıda kurutma, seramik ve metalürji sanayinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Rekuperatörler ve Rekuperatif brülörlerle, düşük ve orta atık ısı geri kazanır.

Rekuperatörler ve Rekuperatif brülörler;

- ✓ Parlak tav,
- ✓ İyileştirme,
- ✓ Karbonizasyon,
- ✓ Ostenitleştirme,
- ✓ Menevişleme,
- ✓ Sertleştirme,
- ✓ Normalizasyon,
- ✓ Karbonitrasyon,
- ✓ Pota kurutma,
- ✓ Pota ısıtma,
- ✓ Kızartma fırınları,

kullanılır.

Ayrıca sıcak külçelerin ısıları geri kazanılır. İki potalı sistem seri bağlantısı kullanılabilir.

3.1 Metalik ve Seramik Rekuperatörlerin Kullanımında Bariyerler ve Kısıtlar

Rekuperatörlerin ve rekuperatif brülörlerin malzemeleri, baca gazı sıcaklığına ve baca gazı bileşenlerine göre seşilmesi fevkalade önemlidir. Korozyona, yüksek sıcaklığa ve gaz akış hızına dayanıklı boruların, olukların, kanalların seşilmesi ve dizaynı rekuperatörlerin ve rekuperatif brülörlerin verimli kullanma ömrünü uzatır. Sıcaklık değişimleri ve yüksek sıcaklıklar için, malzemeler doğru seşilmezse malzemeler yorulur, yıpranır ve değiştirilmesi gerekir.

Rekuperatör boruları iç yüzeylerinde kareson yanma ürünlerinin birikmesi, ısı iletimini negatif etkiler ve bu yüzden borular zaman zaman temizlenmelidir.

Sıcaklık aralığına bağlı olarak ısı geri kazanımı için;

- ✓ >870 oC'nin üzerindeki sıcaklıklarda seramik radyasyon rekuperatörler,
- ✓ 650-870 oC'de konvektif boru tipi çoğunlukla metalik rekuperatörler, radyasyon rekuperatörler,
- ✓ 315-650 oC'de konvektif boru tipi metalik rekuperatörler, self-rekuperatif brülörler,
- ✓ 120-315 oC'de konvektif farklı dizayn tipi metalik rekuperatörler,

kullanılır.

Rekuperatörler ve rekuperatör brülörler, baca gazı PM, korrozif gazlar ve yoğunlaşabilir buharlar içeren ortamlarda kullanılmaz.

Metalik rekuperatörlerin kullanımındaki bariyerler ve limitler;

- ✓ Sıcaklık aralığı maksimum 870 oC,
- ✓ Ekonomik olarak kullanılabilir atık ısı geri kazanım verimi, %30-50,
- ✓ Yüksek sıcaklıkta baca gazı PM, yoğunlaşabilir buharlar veya yanıcı maddeler içermesi halinde yüksek bakım gerekir,
- ✓ Sıcaklık değişimleri, ısı transfer yüzeyinin aşınması ve korozyon etkisi oluşur,
- ✓ Isı transfer yüzeyinin pullanması, bakımı ve temizliğindeki zorluklar ve yüksek bakım ve temizlik maliyeti,

Refrakter ateş tuğlası ile döşeli ve çimento ile bağlanmış seramik rekuperatörlerin kullanımındaki bariyerler ve limitler;

- ✓ Termal döngü ve yüksek basınçlı taraftan sızıntı olasılığı nedeniyle tahmini ömrü,
- ✓ İlk yatırım maliyeti,
- ✓ Nispeten yüksek bakım maliyeti,
- ✓ Boyut kısıtlamaları-büyük boyutlu birimler oluşturması,

olarak sıralanabilir.

Son yıllarda seramik rekuperatörler yerine silisyum karbür borulardan yapılmış rekuperatörler kullanılmaya başlanmıştır. Bu rekuperatörlerde yüksek basınçlarda iyi

sızdırmazlık sağlanmış ve ısı geri kazanmada yüksek verimlilik elde edilmiştir. Bu tür rekuperatörlerin maliyeti 100.000-1.5000 \$/MMBtu arasında değişmektedir.

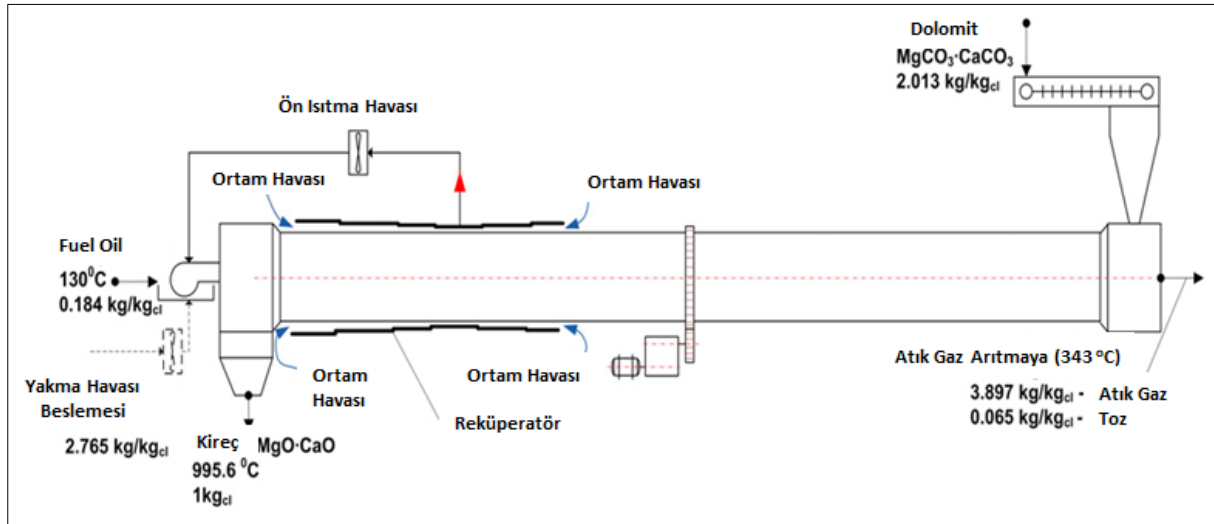
Self-rekuperatif brülörlerin kullanımındaki bariyerler ve limitler;

- ✓ Düşük ısı geri kazanım verimi (genellikle %30'dan az),
- ✓ Sıcaklık sınırlaması-egzoz gazı sıcaklığı, 870 °C'den düşük,
- ✓ Sınırlı boyut kullanılabilirliği (genellikle 1 MM Btu / saatten daha düşük brülörler için),
- ✓ Egzoz gazların PM ve yoğuşabilir buhar içerdiği proseslere uygulanamaz.

3.1. Sanayide Spesifik Uygulamalar

Sanayide atık ısı geri kazanım sistemleri ile enerji tüketimini ve sera gazı CO₂ emisyonunu azaltmak mümkündür.

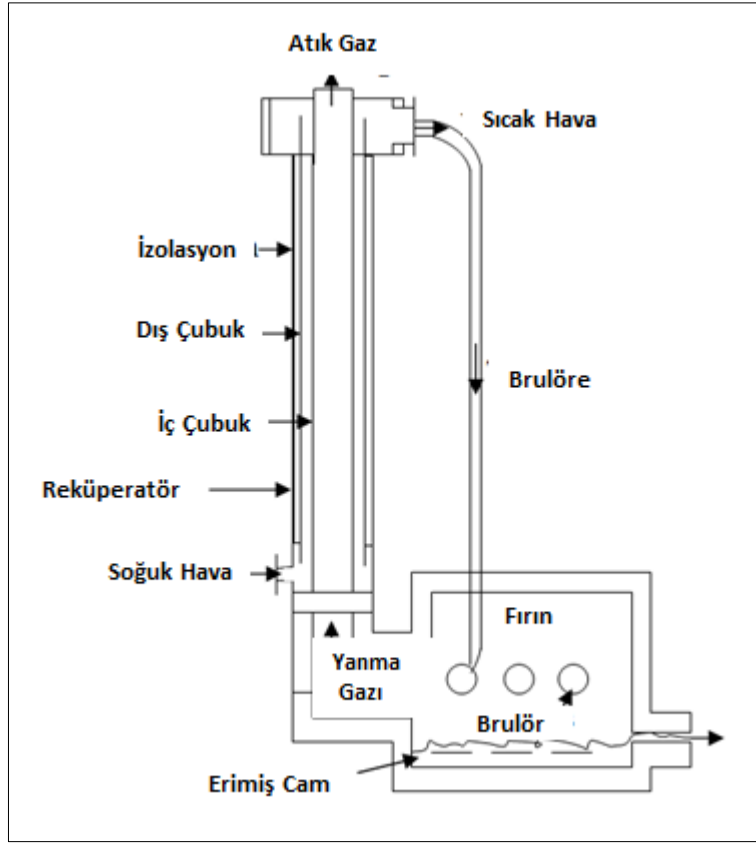
Magnezyum üretiminde döner fırının atık ısısının rekuperatörler tarafından, yanma havası için geri kazanılması ve yanmada kullanılması Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Magnezyum Üretim Döner Fırınında Atık Isı Geri Kazanımı

Şekil 3.1'de verilen uygulama ile atık ısı, yaklaşık %12 oranında geri kazanılabilmekte ve aynı oranda fosil yakıt tasarruf edilmektedir. Bu yatırım sisteminin geri ödeme süresi 6 aydan daha azdır.

Fiber glas üretiminde atık ısının geri kazanılması amacıyla rekuperatif fırın uygulaması Şekil 3.2'de verilmiştir. Baca gazı yüksek oranda borik asit içeren baca gazı rekuperatöre 1200 °C'da girer. Bu yüzden fırın ve rekuperatör duvarı arası baca gazı mümkün olduğunca iyi yalıtılmalıdır.



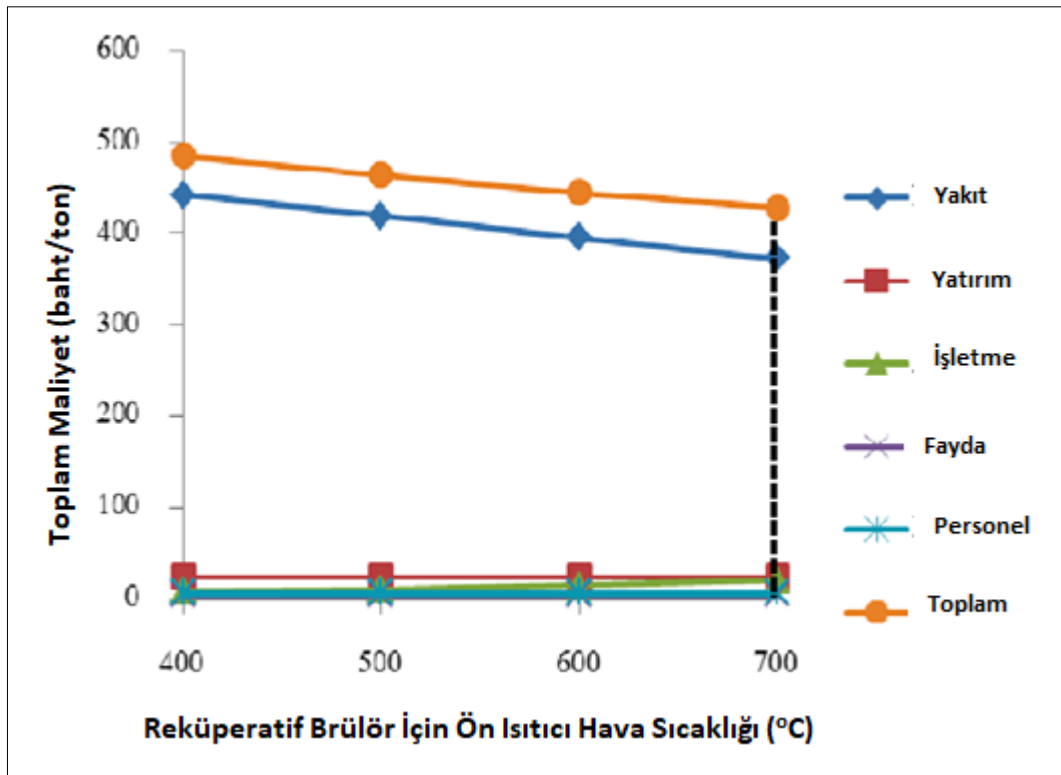
Şekil 3.2 Fiber Glas Rekuperatif Fırın

Tekstil sanayi kurutma işleminde oluşan atık ısının geri kazanılması mümkündür.

4. MALİYET KARŞILAŞTIRILMASI

Rekuperatif brülör yatırım maliyetinin amortisini sağlayan en önemli parametre, yakıt bedeli, yatırım maliyeti, brülörün ömrü, enerji tasarrufu ve indirim oranıdır. Tayland'da yapılan bir çalışmada rekuperatif brülör yatırım amortismanını etkileyen en önemli parametre, yakıt bedeli olarak doğal gazın fiyatına bağlıdır (Şekil 4.1).

40 ton/saat kapasiteli çelik üretim tesisi, ön ısıtmalı hava sıcaklığına sahip rekuperatif brülörlerin işletme maliyeti ve yatırım maliyetleri arasındaki sonuçları Şekil 4.1'de, verilmiştir.



Şekil 4.1 Maliyetler

Şekil 4.1, minimum 13,74 dolar/ton maliyette olan geri kazanma brülörü için 700 ° C'deki ön ısıtma sıcaklığını ve yakıt maliyetinin yaklaşık %19,9'luk düştüğünü ve bunun maliyetinin de 119 dolar/ton olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.1'de üç fabrika için yapılan çalışmada yatırım ve geri ödeme periyodu hesaplaması verilmiştir.

Tablo 4.1 Rekuperatif Brülör Kapasitesi, Yatırım Maliyeti ve Geri Ödeme Periyodu

Brülör Tipi	Yeniden Isıtma Fırın Kapasitesi (ton/yıl)	Geri ödeme süresi (yıl)	Net mevcut değeri (dolar)
Rekuperatif Brülör	40	2,63	4.865.801
	70	1,92	9.898.977
	150	1,43	25.916.956
	40	2,22	9.875.734

Tablo 4.1’de yatırım bedellerinin geri ödemesi hesaplanmıştır. Tablo 4.1 incelendiği zaman rekuperatif brülörlerin yatırımlarının geri ödeme süresi, 1,43 yıl ila 2,63 yıl arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca, böyle bir uygulama ile fosil yakıt tüketiminde ve sera gazı CO₂ emisyonunda önemli oranda azalma sağlanmaktadır.

Rekuperatif brülörlerin kullanıldığı fırın sisteminde açıklıklar ve kaçak noktalarının olması ışınım ve gaz akışı nedeniyle enerji kaybına sebep olur. Meydana gelen ısı kaybı açıklığın alanı ile doğru (yaklaşık mutlak sıcaklığın dördüncü kuvveti ile) orantılıdır.

Fırınların, hızlı ısınma ve soğumanın neden olduğu çatlama ve kabarmalara karşı dirençli olması için yalıtılmalıdır.

Eğer dışarıya olan sızıntı fırın dışında uzun alevlere neden oluyorsa, bu muhtemelen çok fazla hava yakıt karışımından dolayı tam yanma olmadığını gösterir ki böyle bir alevin olması enerji kaybı demektir ve yanma havasının uygun şekilde ayarlanması ile giderilebilir.

Fırına soğuk havanın sızması ciddi bir enerji kaybına neden olabilir. Baca damperi iyi ayarlanmamış ise yanma odasının altında vakum oluşacak ve genellikle bu tür sızmalara sebep olacaktır.

Uzun vadede etkin bir enerji verimliliği sağlamak için, baca gazı sıcaklığı, yakıt tüketimi, fırın yükü ve CO₂ emisyonu gibi önemli değişkenlerin izlenmesi için sürekli takip edilmelidir.

5. SONUÇ

Rekuperatif brülör sistemi şunlardan oluşur:

- ✓ Paslanmaz çelik borular, oluklar, yarıklar.
- ✓ İçten seramik elyaf + kaya yünü kaplı, karbon çelikten yapılmış boru kafesinin kasası.
- ✓ Paslanmaz çelikten imal edilmiş çift kabuklu toplayıcı iç plakası.
- ✓ Karbon çelikten yapılmış hava oluk kanalları.
- ✓ İkili kabuk toplayıcı ve ara kanalın taş yünü ile dış izolasyonu galvanizli sac ile kaplanmalı.
- ✓ Hava giriş ve çıkış flanji bağlantılar.
- ✓ Sızdırmazlık testi yapılmalı.

Metalik rekuperatif brülörler;

- ✓ Düşük ısı geri kazanım verimine (genellikle %30'dan az) sahiptir.
- ✓ Sıcaklık sınırlaması - egzoz gazı sıcaklığı 870 ° C'den düşük sıcaklığa uygulanır.
- ✓ Sınırlı boyut kullanılabilirliği (genellikle 1 MM Btu / saatten az olan brülörler için) sahiptir.
- ✓ Egzoz gazlarının PM, asidik gazlar ve yoğuşabilir buhar içerdiği proseslere uygulanamaz.

Rekuperatörler ve rekuperatif brülörlerin kullanıldığı fırınlarda ve ergitme ocaklarında hava sızdırmazlığı sağlanmalıdır.

Rekuperatif brülörde, fırın bünyesinde devamlı bir artı basıncı dengede tutmak için küçük bir baca ile yanmış gazların %20'si kontrollü olarak fırın dışına atılır. Hiçbir ısı kaybı olmadan yanmış gazların %80'i rekuperatif brülör üzerinden fırını terk eder.

6. KAYNAKLAR

1. Sultan Örenay, “Sanayi Fırınlarında Merkezi Rekuperatör, rekuperatif ve rejeneratif yakıcılar” III. Enerji Verimliliği Kongresi, 2011.
2. Maciej ROZPONDEK, Mariusz WNEK, “THE APPLICATION ASPECTS OF SELF-RECUPERATIVE AND SELF-REGENERATIVE BURNERS IN THERMAL DEVICES”.
https://www.mtf.stuba.sk/buxus/docs/internetovy_casopis/2013/1/3_Rozpondek_Wnek.pdf
3. Hussam Jouhara, Navid Khordehghah, Sulaiman Almahmoud, Bertrand Delpech, Amisha Chauhan, Savvas A. Tassou, “Waste Heat Recovery Technologies and Applications”, Thermal Science and Engineering Progress, 2018.
4. Arvind C. Thekdi, E3M Inc., Sachin U. Nimbalkar, ORNL “Industrial Waste Heat Recovery: Potential Applications, Available Technologies and Crosscutting R&D Opportunities”, Energy and Transportation Science Division (ETSD), 2014.
5. Somkiat Tangjitsitcharoen, Suthas Ratanakuakangwan, Matchulika Khonmeak, Nattadate Fuangworawong, “Investigation of Regenerative and Recuperative Burners for Different Sizes of Reheating Furnaces”, World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, Vol:7, No:10, 2013.
6. “Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry”, Prepared by BCS, Incorporated March 2008.
7. H.-P. Gitzinger, M. Wicker, P. Ballinger, “Saving energy by modernizing the heating system, using modern self recuperative burners”, Segment LBE, Wuppertal, 2010.
8. Osaka Gas, “Recuperative Burner (Recupeburner)”, Osaka Gas Co., Ltd., Osaka, 2017.
9. Harshdeep Sharma, Anoop Kumar, Varun and Sourabh Khurana, “A review of metallic radiation recuperators for thermal exhaust heat recovery”, Journal of Mechanical Science and Technology 28 (3) (2014) 1099~1111.