

REJENERATİF BRÜLÖR TEKNOLOJİSİ RAPORU



TARİH: Mart 2019

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	3
2. REJENERATİF BRÜLÖRLER.....	5
3. YATIRIM MALİYETİ	19
4. FAYDALARI	20
5. UYGULAMA ALANLARI.....	22
6. MEVCUT SİSTEMLERE UYGULAMA	24
7. KAYNAKLAR	26

ŞEKİLLER

Şekil 2.1 Isıtılmış Yanma Hava Sıcaklığı ile Enerji Tasarrufu Oranı Arasındaki İlişki, Verimlilik	6
Şekil 2.2 Isı Değişim Performansı.....	7
Şekil 2.3 Rejeneratif Brülör Mekanizması.....	11
Şekil 2.4 Rejeneratif Brülör Sisteminin Çalışma Esası.....	14
Şekil 2.5 Seramik Termal Isı Depolama Petekleri	16
Şekil 2.6 Klasik Sistemle Rejeneratif Brülörlü Sistemde Alev Genişlemesi ve Gaz Sıcaklığı Değişimi	17
Şekil 6.1 Mevcut Fırının Yeniden Rejeneratif Fırına Dönüşümü	24
Şekil 6.2 Fırınlarda Brülörlerin Düzenlenmesi	25

1. GİRİŞ

Demir çelik, enerji yoğun endüstri koludur. AB ülkelerinde endüstriyel sera gazı CO₂'in %30'nun kaynağı demir çelik sanayidir. AB ülkelerinde sanayide enerjinin %30'u demir çelik sanayinde tüketilmektedir. Japonya'da enerji tüketiminin %18'i endüstriyel fırınlarda tüketilmektedir. Klasik yakma teknoloji endüstriyel fırınlar için ısı verimliliği, yaklaşık olarak %35'dir. Fırınlarda enerjinin %65, atık ısı olarak havaya atılmaktadır.

Enerjiyi yoğun kullanan demir çelik sektörünün, Türkiye'nin toplam enerji tüketimi içerisindeki payı, %7,5, sanayi tüketimi içerisindeki payı ise, % 22,9 civarındadır.

Çelik sektörümüzde, enerjinin girdi maliyetlerinde payı, hammaddeden sonra 2. sırada yer almakta ve %15-25 civarında yüksek bir orana sahip bulunmaktadır.

Demir-çelik sanayinde ark ocağı, pota ısıtma, tandış ısıtma ve haddehane tav fırınlarında ve alüminyum sanayinde ergitme fırınları, tutma fırınları ve biyet dökümde yakıt olarak, verimliliği yüksek ve düşük karbonlu doğal gaz kullanımının arttırılmasıyla, fuel oil ve motorin kullanımından kaynaklanan çevresel etkiler azaltılmıştır.

Rejeneratif bir brülör, endüstriyel fırında egzoz ısısının son derece verimli bir şekilde geri kazanılmasını sağlayan yanmalı bir ısıtma sistemidir.

Rejeneratif brülör sistemi, atık ısının %90, 1150 °C sıcaklığa sahip fırınlarda atık ısının %50'i yakma havasını ön ısıtma yaparak enerji amaçlı kullanılabilir.

Rejeneratif brülör sistemi, yanma havası dönüşümlü olarak ısıtmak veya geri kazanıp ısıyı fırın egzoz gazlarından depolamak için çalışan bir çift brülör kullanır. Bir rejeneratif brülör ateşlerken, diğeri fırının egzoz gazlarının ısını depolamaktadır.

Rejeneratif sistemleri içeren brülörler, ticari olarak temin edilebilir. Tasarım ve yapımda bağımsız rejeneratif fırınlardan veya toplayıcılardan daha basit ve daha kompakt olan bu sistemler, ortam havasında çalışan brülörlere kıyasla daha yüksek enerji verimliliğine sahiptirler. Sistem buna göre tasarlanmıştır. Rejeneratif brülör sistemlerinin yanma öncesi bölümünde ısı depolama ünitesi vardır. Her iki brülör hem yanma hem de ısı değiştirme görevi görür. Kendinden rejeneratif brülörler, brülör gövdesindeki egzoz gazlarını refrakter bir ortam kasasına geçirir ve rejeneratif fırına benzer şekilde çiftler halinde çalışır. Tipik olarak, geri kazanımlı brülör sistemleri daha az ısı değişim alanına sahiptir ve rejeneratif

brülör sistemleri bağımsız ünitelerden daha düşük kütlelidir. Bu nedenle, enerji geri kazanımları daha düşüktür, fakat daha düşük maliyetler ve sonradan güçlendirme kolaylığı, onları enerji geri kazanımı için çekici bir seçenek haline getirmektedir.

Yüksek performanslı endüstriyel fırın kullanımı (rejeneratif brülör) ile enerji yoğun sanayilerde enerjiyi verimli kullanmak, enerji israfını önlemek, işletme maliyetini düşürmek, sera gazı CO₂ salınımını ve NO_x emisyonlarını azaltmak mümkündür.

Rejeneratif brülör sistemi, 1150 °C gibi yüksek sıcaklıkta verimli olarak çalışır ve otomatik bilgisayar simülasyon ve kontrol sistemi esasına dayanır.

2. REJENERATİF BRÜLÖRLER

Mevcut yüksek sıcaklıkta ergitmenin yapıldığı fırınların çoğunda atık ısı %100 oranında çöp olmaktadır.

Döküm zamanları da dahil olmak üzere, ergitmeye ihtiyaç olmadığı halde sadece pilot alevi için yakma hava fanları aynı devirde çalışmaya devam etmektedir.

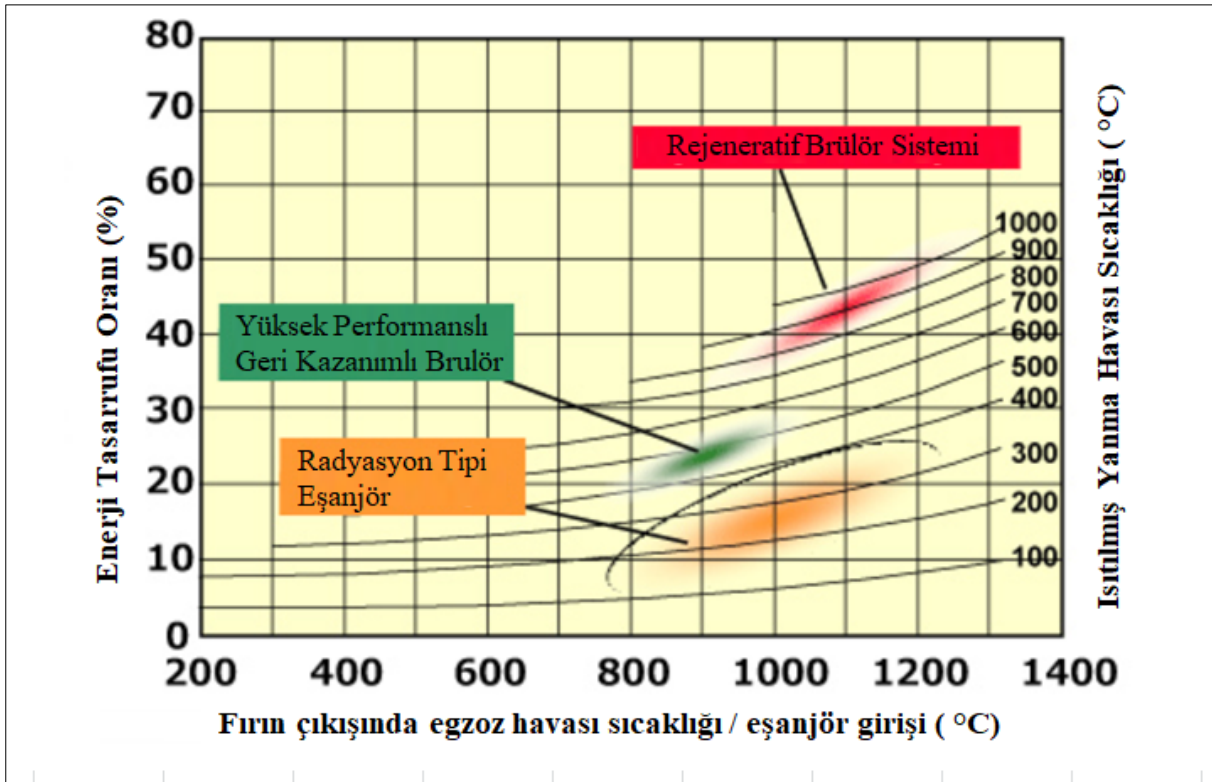
Rejeneratif brülörler, aynı özelliğe sahip iki ısı hücreli yapının karşılıklı ve kontrollü çalışma prensibine dayanır.

Rejeneratif brülör sistemi öncesinde brülör pilot alevi beslemek için tüketilen enerjinin, sadece %10'u tüketilir.

Rejeneratif brülörler, yüksek sıcaklıktaki yanma odasından çıkan egzoz ısını geri kazanmak, tekrar kullanmak ve yanma havasını ısıtmak için tasarlanmıştır.

Şekil 2.1, fırın çıkışında/ısı değiştirici girişinde ($^{\circ}\text{C}$) egzoz havası sıcaklığına bağlı olarak ön ısıtılmalı hava sıcaklığında enerji tasarrufu verimliliği oranı gösteriyor. Hava ön ısıtmasız bir sistemde, verimliliğin yükselen egzoz gazı sıcaklığı kullanılmadığı zaman ciddi oranda azaldığı görülür.

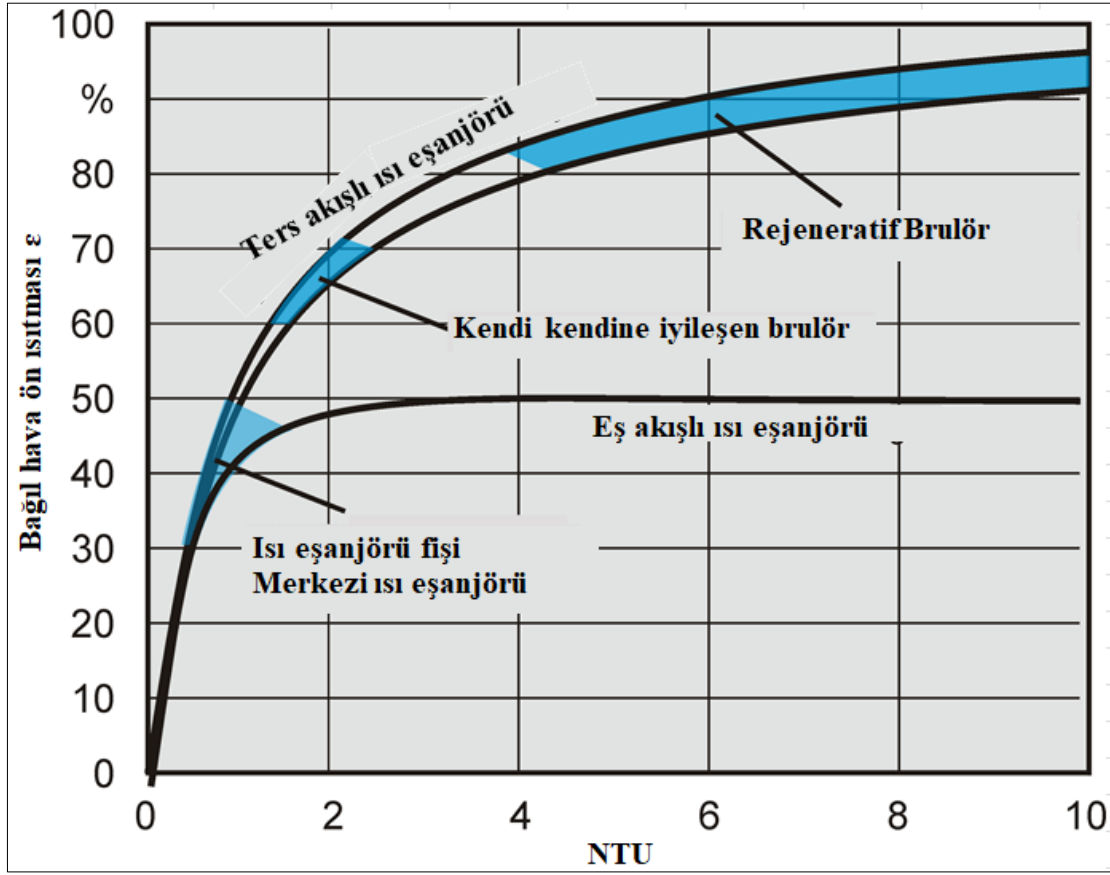
1100-1250 $^{\circ}\text{C}$ 'lik bir proses sıcaklığında fırın çıkış/ısı değiştirme girişinde egzoz hava sıcaklığı, ön ısıtılmalı hava sıcaklığı olarak rejeneratif brülörlerde kullanılırsa %50 oranında enerji tasarrufu sağlanır.



Şekil 2.1 Isıtılmış Yanma Havası Sıcaklığı ile Enerji Tasarrufu Oranı Arasındaki İlişki, Verimlilik

Rejeneratif brülörlerde, yüksek sıcaklıktaki atık ısı yanma havasını ısıtmada kullanılmak üzere alınır, yanma havası rejeneratif ortamdan geçer, giriş havasına aktarılır, yani atık ısı giriş yanma havasına geri kazanacak ve ısıtacak şekilde tasarlanmıştır. Rejeneratif (geri kazanımlı) brülörler, yakma işleminden çıkan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazından gelen atık ısıyı yakalamak ve kullanmak için ısı eşanjörünü yüzeyleri ile birleştirerek enerji verimliliğini optimize eder.

Isı değişim performansı Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 Isı Değişim Performansı

Isı değişim performansı, transfer birimi sayısı (NTU) ile değerlendirilir. NTU, ısı değiştirme alanı doğru orantılı, ısı değiştirici arasından akan ısı kapasitesi ile ters orantılıdır.

$$NTU = kA/mc_p$$

Burada;

A: ısı değiştirme yüzey alanı,

k: Isı transferi sabiti,

m: Kütle akışı,

c_p : Spesifik ısı.

Tipik olarak, rejeneratif brülör sistemi ile fırına bağlı ve fırına giren yanma havasını alternatif olarak rejeneratif ortamda ısıtan, ayrı kontrol valflerine sahip iki brülörden oluşur. Yani sistemde aynı kapasite ve özellikte iki adet karşılıklı brülör vardır. Brülörlerden birinde yanma

gerçekleşirken diğeri egzoz gazını alan baca görevi görür, ısıyı depolar ve depolanan ısı yanma havası ön ısıtmada kullanılır.

Sistem, egzoz gazlarını fırından ısıyı toplamak için alümina bilyeler veya seramik petekler gibi ateşe dayanıklı materyal dolu bir ortama yönlendirilerek çalışır. Alümina bilyeler ve seramik petekler, korozyona dayanıklılığı ve ısıya dirençliliği mükemmel ve ekonomik malzemelerdir. Yüksek sıcaklıktaki egzoz gazı, alümina bilyeli veya seramik petekli ortamı yüksek sıcaklıkta ısıtır, egzozdan gelen yüksek sıcaklıktaki atık ısı enerjisi böylece geri kazanılır ve depolanır. Ortam tamamen ısıtıldığı zaman egzoz gazının yönü tersine çevrilir, depolanan ısı, brülöre giren giriş yanma havasına transfer edilir, rejeneratif ortamda ön ısıtma yapılan yanma havası (yaklaşık 750-1100 °C) brülörü ateşlemeye başlar ve fırına yüksek hızla alev püskürtülür. Sıcak (rejeneratif) ortamdan gelen egzoz, daha sonra soğuk ortamı ısıtır ve işlem devam eder. Bu teknik sayesinde, rejeneratif brülör yanma havasını ısıtmak için kullanılan yakıt israfını önler ve bu da yanma verimliliğini artırır.

Fırın sıcaklığı tutuşma sıcaklığını aştığında, ki hızla ulaşır, sistem, birincil brülör gaz memesine yakıt tedarikini durdurur ve fırın içindeki gazın yeniden sirkülasyonunu üreten ikincil brülör gaz memesinden yakıt gazını püskürtmeye başlar, böylece yavaş yanma sağlanır. Brülör, düşük NOx teknolojiye doğrudan yakıt enjeksiyon modeline sahiptir.

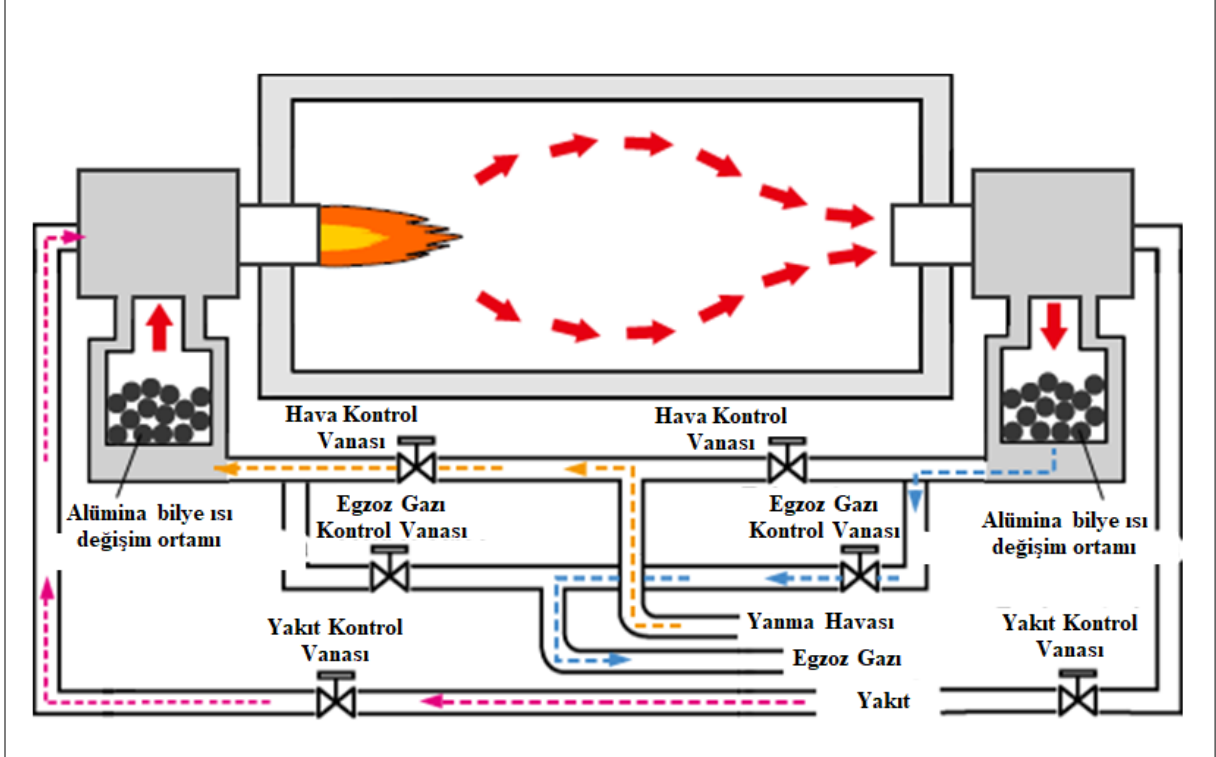
Fırın içi atmosferin kendi kendine dolaşımını sağlayan yüksek hızlı jet akımı, alev sıcaklığının yükselmesini önler ve alevi dengeler. Ve ayrıca, iç fayans çevresine yerleştirilmiş olan yarıktan dışarı atılan sekonder hava ile karıştırılarak iki aşamalı yanma, maksimum alev sıcaklığı ve alev stabilitesinin bastırılmasını ve yanmanın sona ermesini gerçekleştirilir.

Daha önce tarif edildiği gibi, fırın içindeki gazın yeniden sirkülasyonu ve iki aşamalı yanma yöntemi, maksimum alev sıcaklığının düşürülmesini mümkün kılar, böylece NOx üretiminin şiddetli bir şekilde düşmesini sağlar.

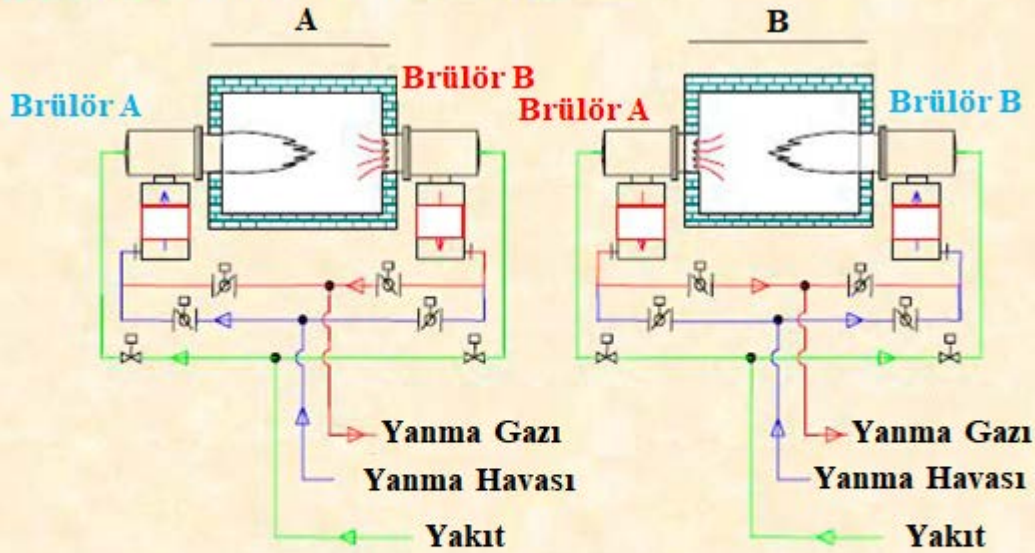
Rejeneratif brülörler, çift ısıyı geri kazanım cihazları veya brülörün içine yerleştirilmiş ısı depolama/ısı verme kapasitesine sahip sistemden oluşur. Büyük yüzey/hacim oranı ve kısa inversiyon (evirme) süresi ($\approx 30 - 40$ s), rejeneratörlerin hacmini önemli ölçüde küçültmeyi mümkün kılar.

Yukarıda belirtildiği gibi, rejeneratif brülör sistemi, yakıttan tasarruf sağlar ve yüksek yanma verimliliği gerçekleştirir (Şekil 2.3).

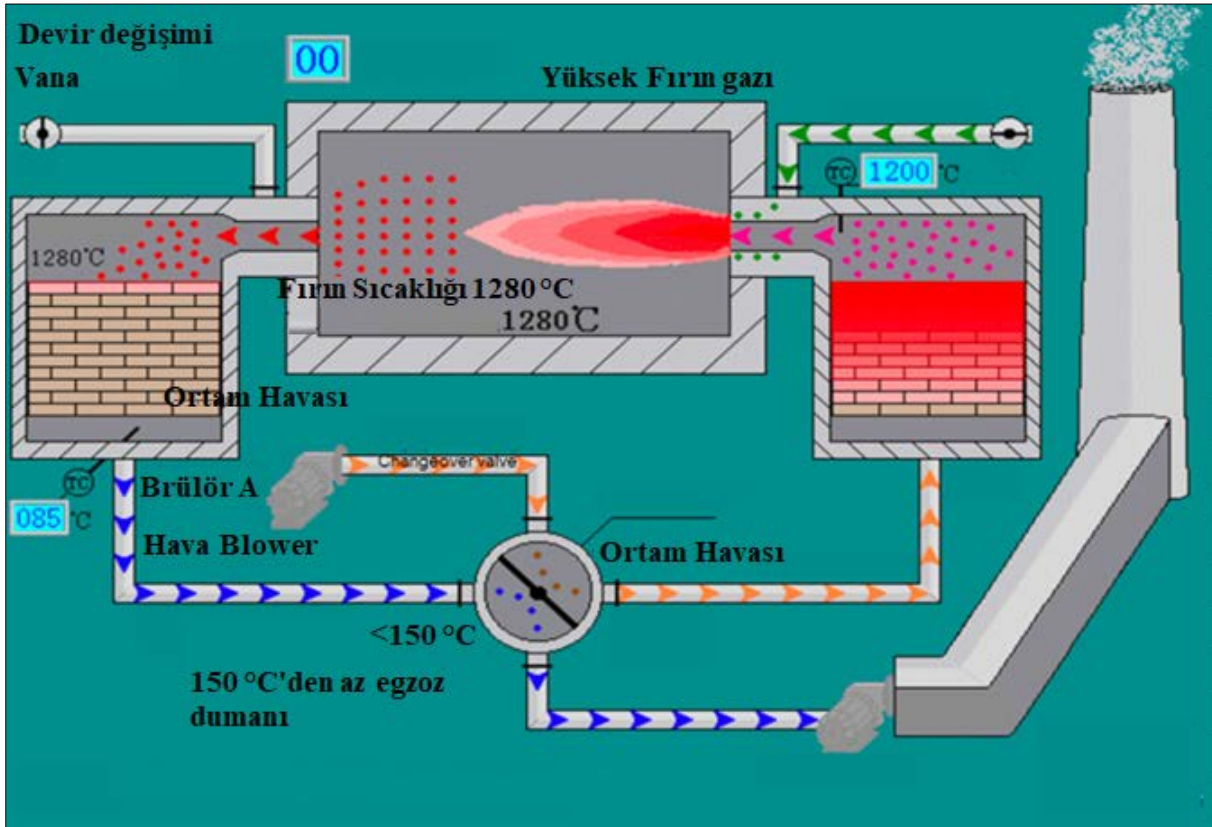
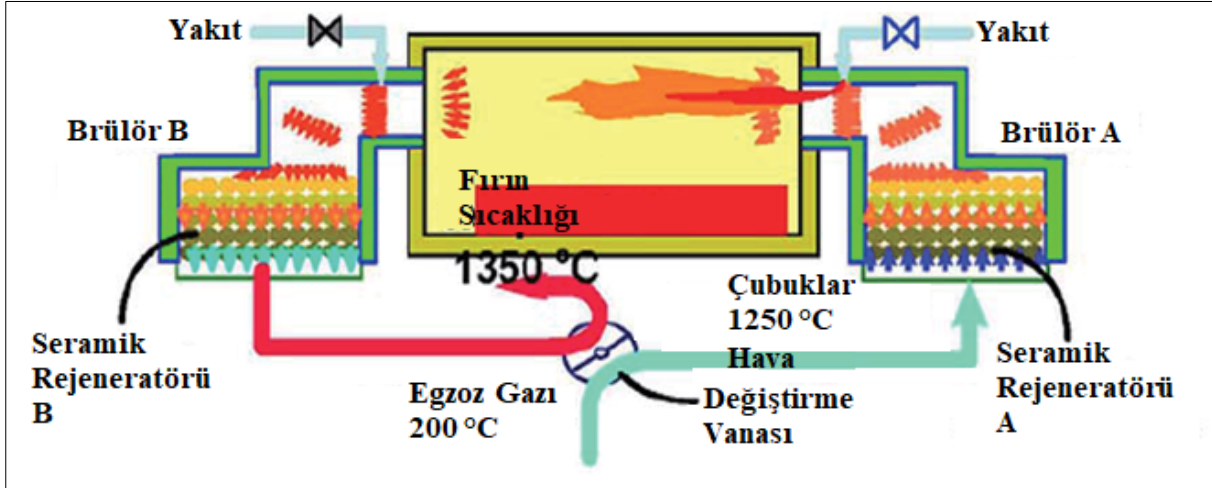
Yanma havası, rejeneratif ortamda önceden yüksek sıcaklıkta ısıtarak hem yanma verimliliği artırılır hem de yakıttan ciddi miktarda tasarruf edilir.

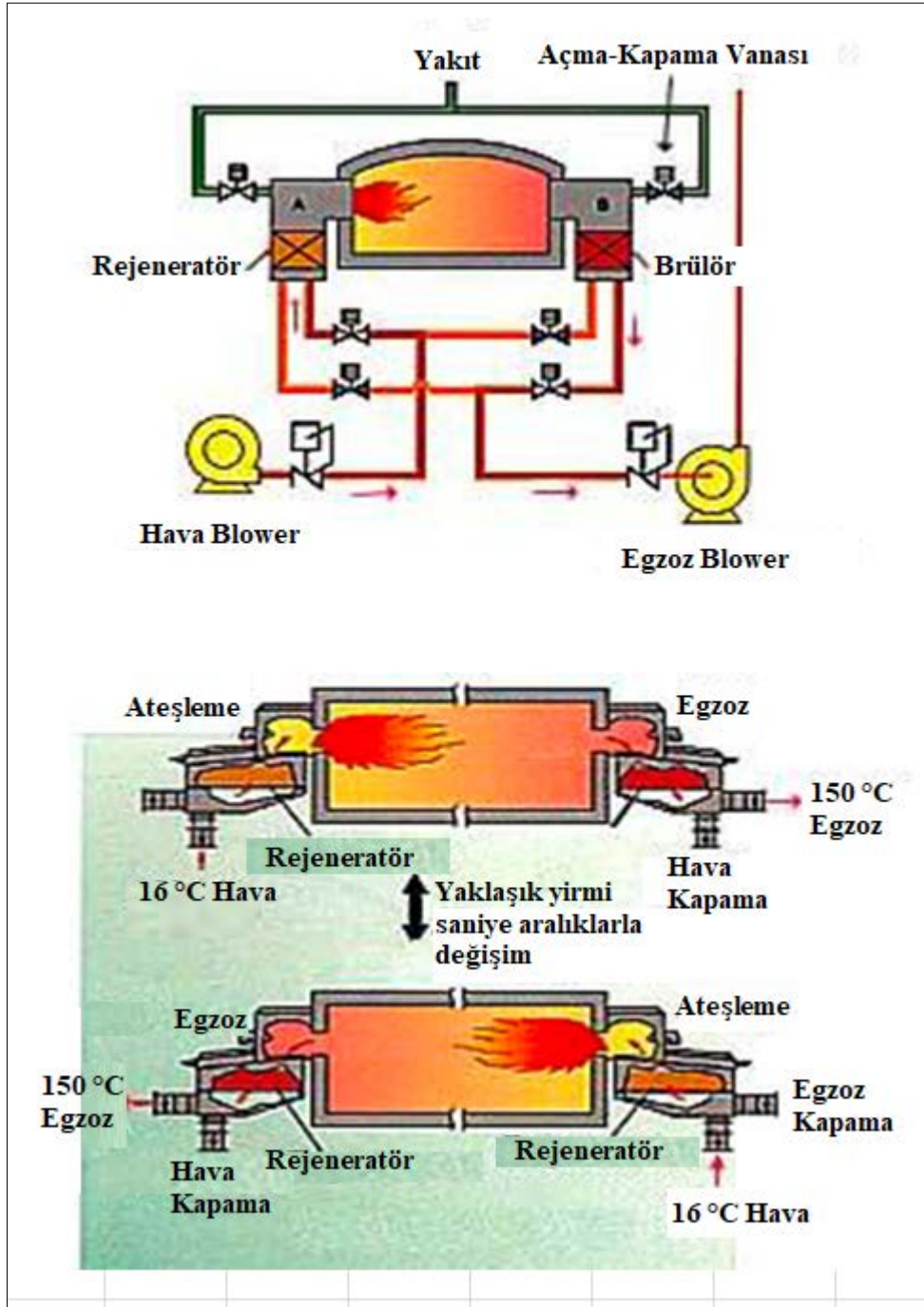


Rejeneratif Yanma Sistemi



	A	B
Brülör A	Yanma	Birikme
Brülör B	Birikme	Yanma





Şekil 2.3 Rejeneratif Brülör Mekanizması

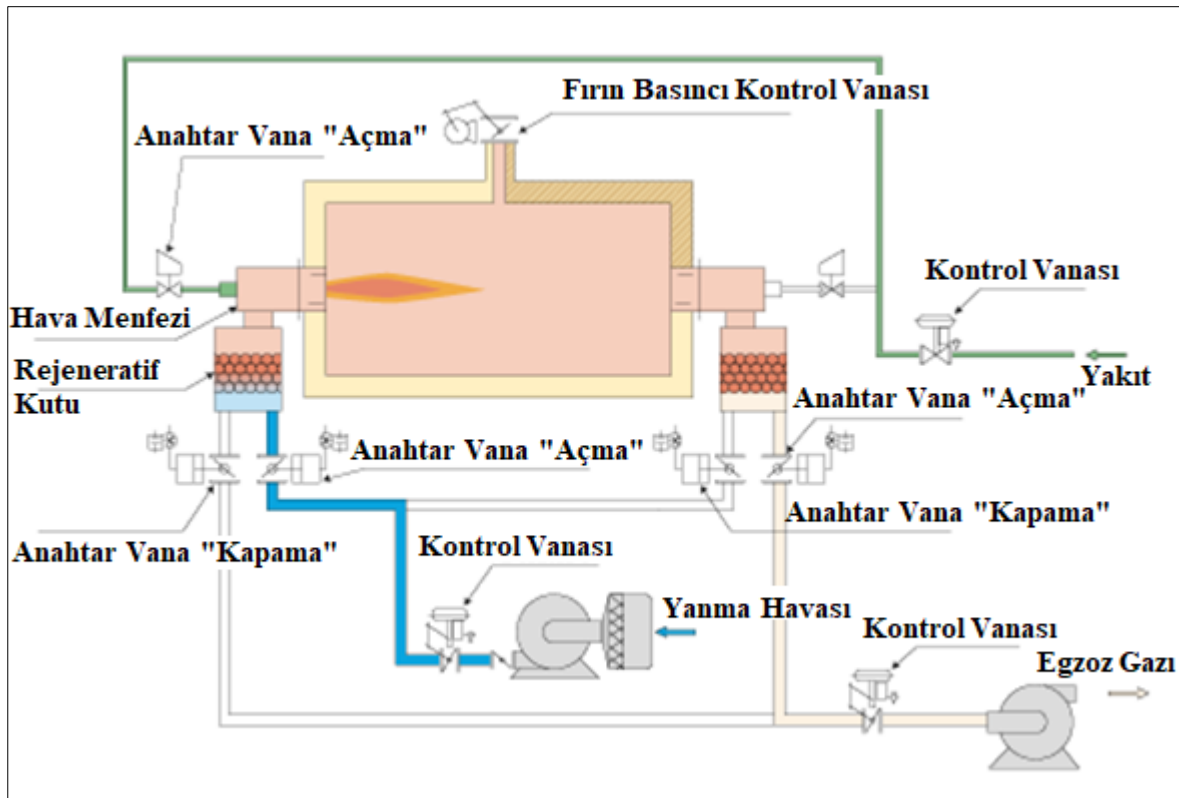
Şekil 2.3, rejeneratif brülör sistemi çalışma prensibi göstermektedir. İlk, A brülörü ateşleme (yanma) modundayken, ikinci B brülörü egzoz modundadır. İlk brülör, Şekil 2.3’de gösterildiği gibi, brülör içinde ılık olan yanma havası üflenmesi ile ateşlenir. Bu arada, ikinci brülör, ısıyı Şekil 2.3’de gösterildiği gibi brülör gövdesinden yüksek sıcaklıktaki egzoz gazını alır, egzoz alümina bilyeler veya seramik petekler ortamına girer ve ısını veren egzoz gazı serbest bırakılır. 30 ila 40 saniyelik bir sürenin ardından, ikinci brülörler ateşlenir ve ilk brülör yüksek sıcaklıktaki egzoz gazını alır. Çalışma sistemi böyle devam eder. Brülörün yakma ve alma modu, ısıtma fırını durdurulana kadar kendi kendine tekrarlayacak şekilde çalışır. Alümina

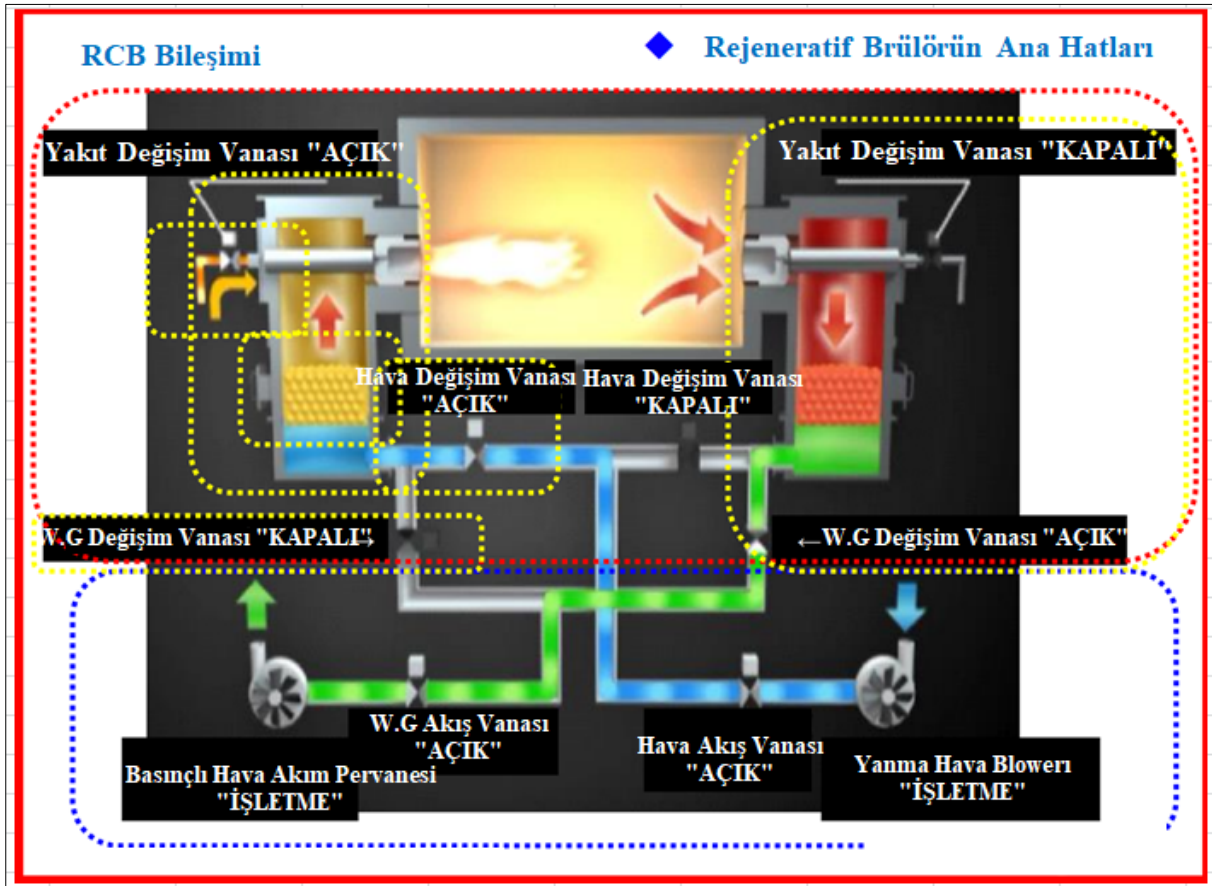
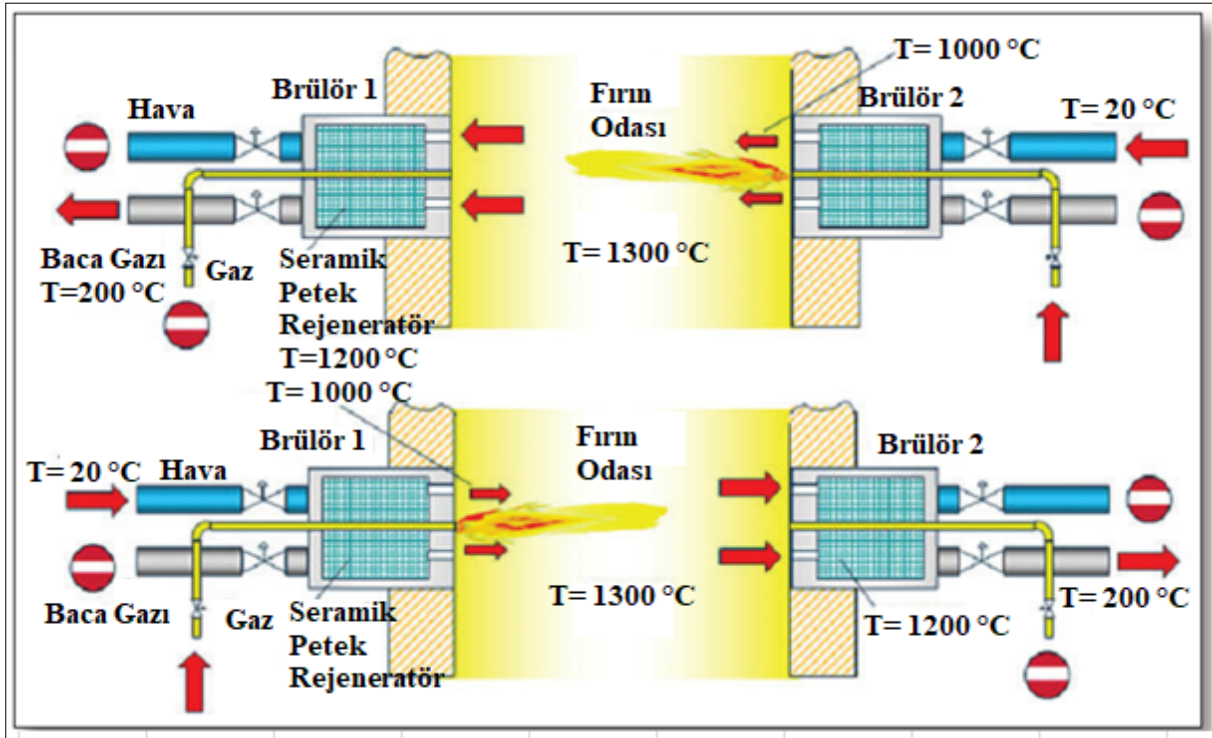
bilyelerin veya seramik peteklerin olduğu rejeneratif ortamda önceden yüksek derecede ısıtılmış yanma havası, yanma işlemini çok verimli kılar. Böylece yanma havasının fırının işletme sıcaklığına kadar ısıtılmasına gerekli kalmaz.

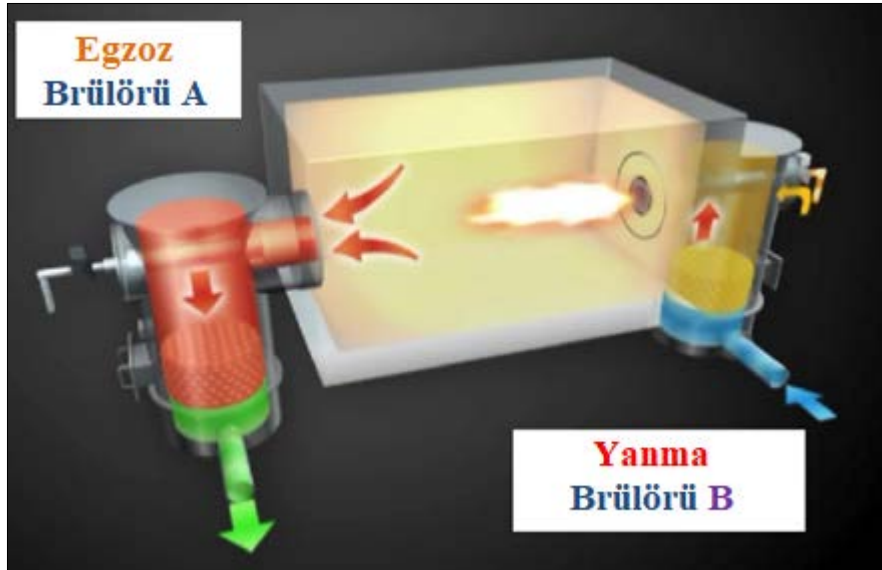
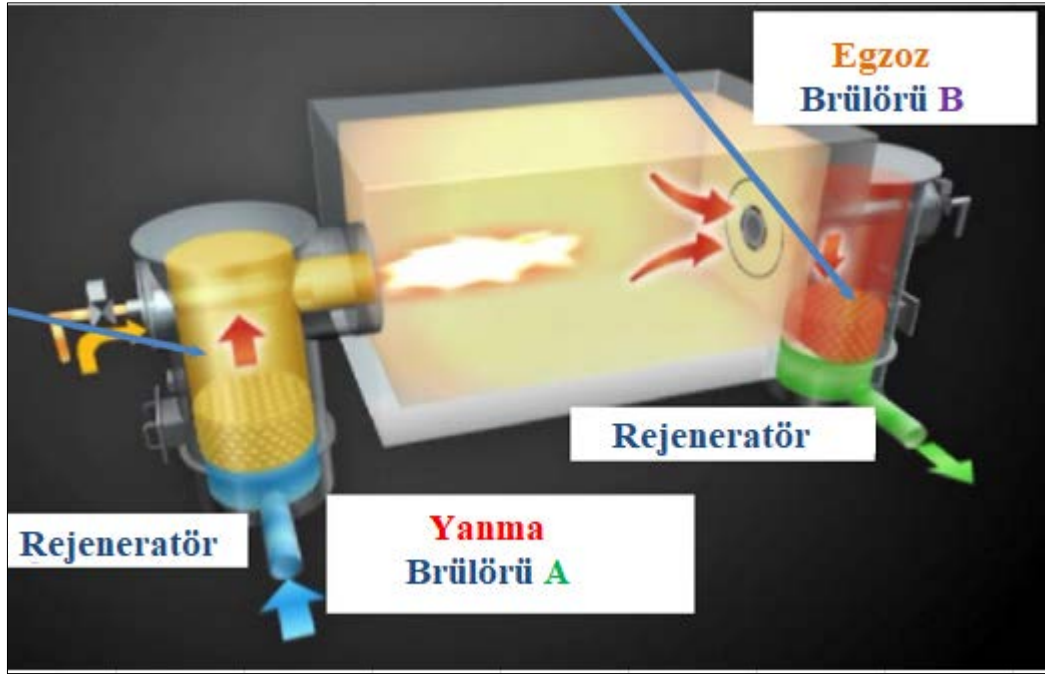
Bu teknoloji, hem blast (yüksek) fırın gazı ve hem de yanma havası için 1100-1250 °C kadar çıkmasına, ulaşmasına yardım eder. Bu sıcaklıkta, yüksek fırın gazı, herhangi pahalı yüksek kalorili gaz, doğal gaz gibi, ilave etmeden fırın-ön ısıtma prosesinde kullanılır.

Rejeneratif brülör, alev çıkış hızları yaklaşık 100 m/s olan yüksek hızlı bir brülör olarak çalışır.

Rejeneratif brülör sisteminin çalışma prensibi Şekil 2.4'de verilmiştir.







Şekil 2.4 Rejeneratif Brülör Sisteminin Çalışma Esası

Şekil 2.4’de görüldüğü gibi A brülöründe yanma gerçekleşirken B brülörü egzoz gibi çalışır. B brülörü ortamı ısıtılır. Takiben egzoz prosesinde atık ısının rejeneratörde geri kazanıldığı B brülöründe yanma gerçekleşirken A brülörü egzoz gibi çalışır ve ısıtılır.

A brülörü: B brülörü aynı zamanda egzoz prosesinde geri kazanılmış atık ısı olduğu için yanma havası, brülörlerin rejeneratif ortamlarından atık ısıyı alır.

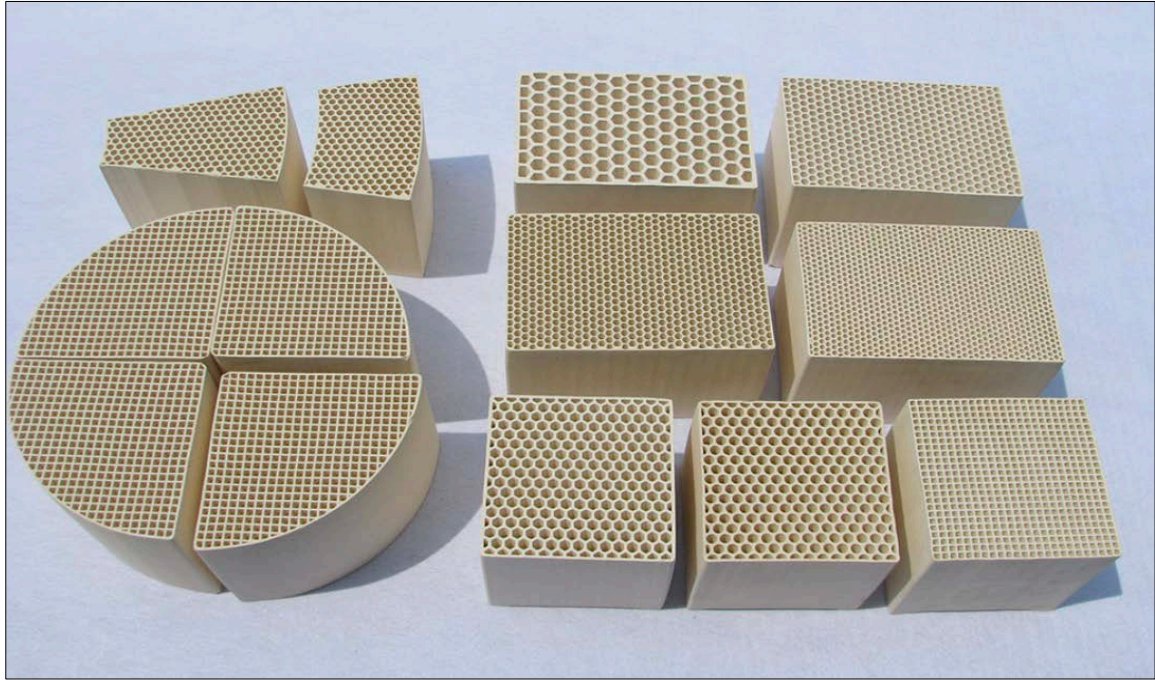
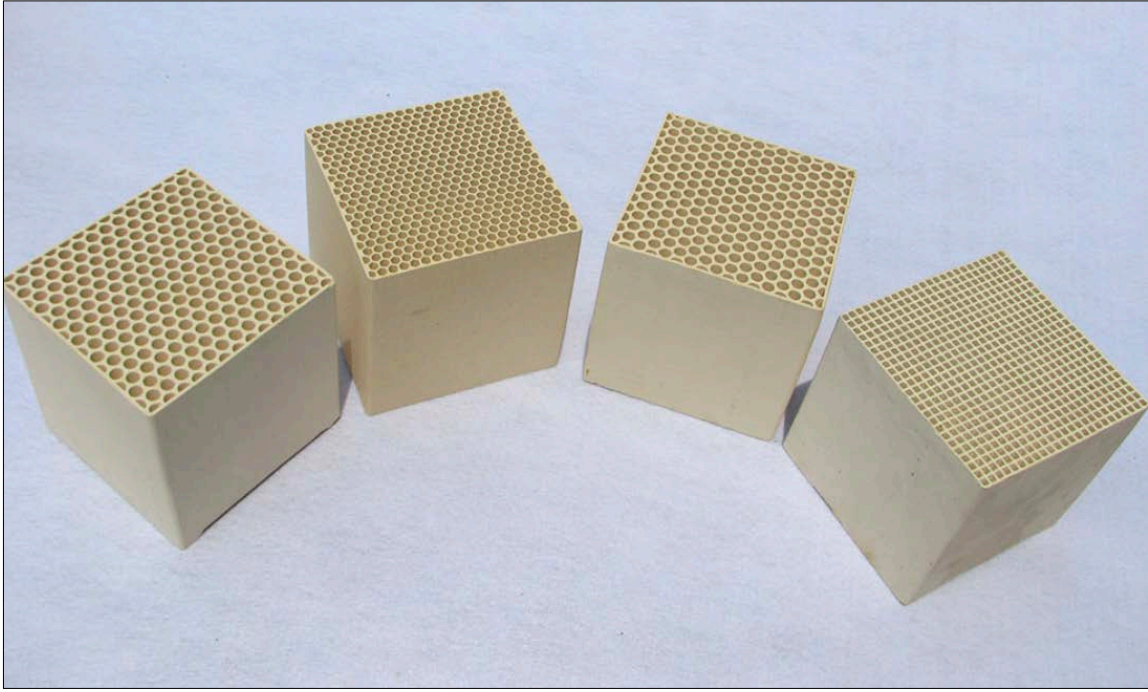
Önceden ayarlanmış dönüşüm zamanı sistem devreye girdiği zaman A ve B brülörleri, dönüşümlü olarak yanma ve egzoz olarak çalışır.

Rejeneratif sistemde brülörün gövdesine monte edilmiş alümina bilyeli veya seramik petekli ısı eşanjörü ile donatılmıştır.

Çift ısıtım rejeneratif brülör ön ısıtım fırınının çatı ve ocak yapısı, geleneksel brülör ön ısıtım fırınının yapısı ile aynıdır, sadece fırın duvar yapısı farklıdır. Çift ön ısıtım rejeneratif brülöründe, yüksek sıcaklıktaki uç boşluğu ve nozül, brülöre uygun olarak eklenmiş, genellikle brülör tuğlası denilen refrakterlerden oluşan bir ünite oluşturur. Brülör tuğla fırın duvarına yerleştirilmiştir.

Fırın duvarı aşağıdaki tasarım özelliklerine sahip olacaktır:

- ✓ Çift ısıtım rejeneratif brülör yeniden ısıtım fırınının çatı ve ocak yapısı, geleneksel brülör yeniden ısıtım fırınının yapısı ile aynıdır, sadece fırın duvar yapısı farklıdır. Çift ön ısıtım rejeneratif brülöründe, yüksek sıcaklıktaki son boşluğu ve nozül, brülöre uygun olarak eklenmiş, genellikle brülör tuğlası denilen refrakterlerden yapılmış bir ünite oluşturur. Brülör tuğla fırın duvarına yerleştirilmiştir.
- ✓ Fırın duvarının kalınlığı, yaklaşık 500 mm'dir, neredeyse ön ısıtım fırınındaki gibi aynıdır.
- ✓ Fırın duvarının ana malzemesi, %60' dan fazla Al₂O₃ içeren ve özellikle düzensiz yapıların yapımına elverişli olan refrakter dökümdür. Döküm işi yerinde yapılacaktır.
- ✓ Fırın duvarının içindeki brülör parçası, brülör tuğlası ile birlikte, brülörün kapalı kalması için tamamen etrafındaki dökümlerle doldurulmalıdır.
- ✓ Fırın duvarı, brülörün etrafındaki kısım dışında, hafif ağırlıklı kil tuğla, seramik elyaf levha ve seramik fiber örtü gibi malzemelerin içeriden dışarı (280 ~ 300mm) doğru sırasıyla dökümü yapılmış farklı tabakada farklı malzemedan oluşan kompozit bir yapıya sahiptir. Bu kompozit fırın duvarı daha iyi bir termal yalıtım özelliğine sahiptir.
- ✓ Refrakter dökümler, fırın duvarı çelik yüzeyine ankraj tuğlaları ile sıkıştırılır ki 400 ~ 500 mm'lik bir aralık ile fırın duvar yüzeyine noktalanır.
- ✓ Transfer alanı yüzeyini artırmak için termal ısı depolama seramik petekler kullanılır.



Şekil 2.5 Seramik Termal Isı Depolama Petekleri

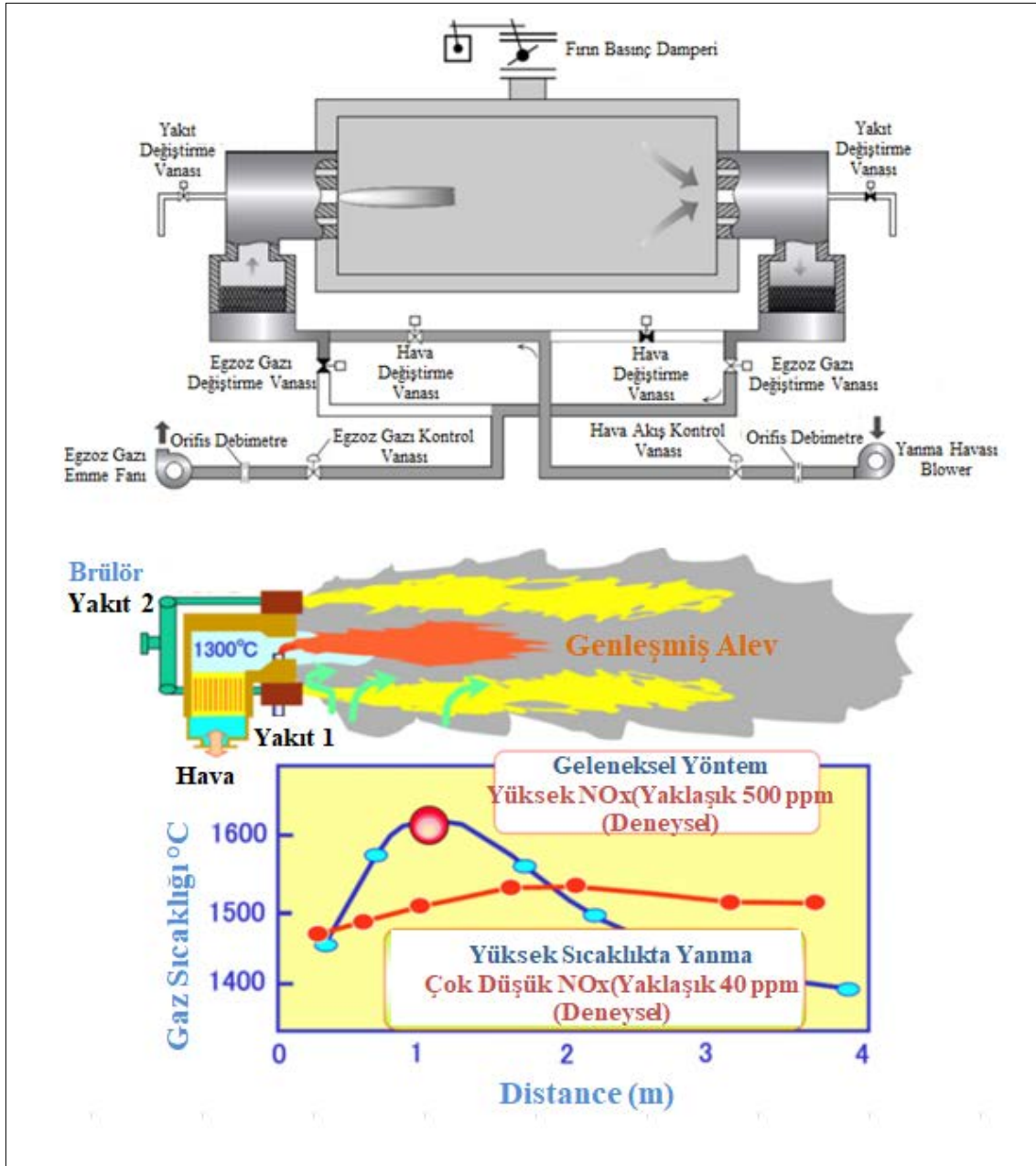
Rejeneratif brülör sistemi ile geri kazanılan egzoz gazı ile yanma havası en az 750-1150 °C sıcaklığa kadar ısıtılır. Egzoz gazının ısısının seramik petek veya alüminyum bilye ortamında tutulma süresi 30-40 saniye arasında değişir. Seramik petek veya alüminyum bilye ortamına egzoz gazı giriş sıcaklığı fırın sıcaklığı ile aynıdır. Sistem döngüsel olarak devam eder.

Çift ön ısıtma rejeneratif brülörleri, yanma için düzenli olarak geri dönen fırının her iki tarafına eşit sayıda monte edilir. Fırın uzunluğu yönü boyunca her bölümün brülör sayısı,

ısıtma talebine göre belirlenir. Bir çift ön ısıtma rejeneratif brülörünün ısıtma kapasitesi genellikle $100 \sim 200 \times 10^4 \text{ kcal/h}$ 'dir.

Brülörler, fırın çeliği yapısının yandan dik sütunları arasına monte edilir. Fırın haznesinin alt brülörlerinin memesi, su ışıını sütunlarına düz olmaktan kaçınmalıdır. Üst brülörün memesi, kütük üst yüzeyinden $200 \sim 300 \text{ mm}$ daha yüksekte olmalıdır.

Klasik sistem ile rejeneratif brülör sisteminde alev genişlemesi ve gazı sıcaklığı değişimi Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 Klasik Sistemle Rejeneratif Brülörlü Sistemde Alev Genişlemesi ve Gaz Sıcaklığı Değişimi

Şekil 2.6 incelendiği zaman klasik sistemde ortam sıcaklığı 1 metre mesafede maksimum seviyeye ulaşmakta ve daha uzun mesafelerde aniden düşmektedir. Rejeneratif sistemde ise ortam sıcaklığı homojen olarak değişmektedir. Klasik sistemde yüksek sıcaklıktan dolayı NOx kirleticisi 500 pmm gibi maksimum seviyeye ulaşırken rejeneratif sistemde NOx konsantrasyonu 40 ppm'lerde kalmaktadır.

Rejeneratörde ısıyı veren egzoz gazı bacaya yaklaşık 150-200°C'de girer.

Yanma sistemi için emniyet tasarımı için;

- ✓ Gaz ana boru hattında, acil durumlarda gazı hızlı bir şekilde kapatmak için hızlı bir kapatma vanası bulunur.
- ✓ Kesme vanası dışında, gaz ana borusunda ayrıca gazın tamamen kesilebilmesi için kör plaka vanası da bulunmalıdır.
- ✓ Düşük gaz basıncı, düşük yanma hava basıncı, düşük basınçlı hava basıncı ve güç besleme sistemi arızası durumunda gaz acilen ve otomatik olarak kesilebilir.
- ✓ Üfleyici arızası ve ID fanı çalıştırma arızası durumunda gaz acilen ve otomatik olarak kesilebilir.
- ✓ Her hava dağıtım borusunun sonunda patlamaya karşı dayanıklı vana bulunmalıdır.
- ✓ Fırın etrafındaki çalışma alanında, CO konsantrasyonu belirtilen izin verilen değeri aştığında otomatik olarak alarm çalacak belirli sayıda CO detektörü kurulmalıdır.

3. YATIRIM MALİYETİ

Japonya’da 110 ton/saat kapasiteli bir demir çelik tesisi rejeneratif brülör sistemi yatırım maliyeti 5.4 milyon dolar ve inşaat maliyeti ise 903 bin dolardır. Bu tesisin yapım süresi yaklaşık olarak 2 aydır. Tesisin geri ödeme süresi (payback time): 7-8,5 aydır.

Endonezya’da bir demir çelik sanayinde rejeneratif brülör sistemi için toplam yatırım maliyeti 6.5 milyon dolarlık yatırım yapılmış (tesisi kapattığından dolayı 2.5 milyon dolar üretim kaybı dahil), tesis 2 ayda kurulmuş ve yatırım bedeli kendini 13-16 ayda amorti etmiştir. Yıllık toplam kar, 5.93 milyon dolar olacaktır.

Klasik sistemlere göre çok ekonomik olmakla birlikte ön ısıtmalı hava sıcaklığı arttığı zaman bakım maliyeti gerekebilir. Zaman zaman rejeneratif brülör temizlenmeli ve egzoz gazındaki kirletici maddelerden dolayı alümina bilyeler veya seramik petekler değiştirilmelidir.

4. FAYDALARI

- ✓ Rejeneratif brülörsüz hava ön ısıtmasız sistemlerde %100 enerji kaybı olur.
- ✓ Rejeneratif brülör sistemleri atık ısıyı geri kazandıkları için %30-50'ye varan yakıt tasarrufu sağlayabilir, 0.17-0.21 GJ/ton kütük. (fırın sıcaklığına, hava oranına, kurulu tesisin işletme modeline bağlı olarak verimlilik değişir).
- ✓ Fırında yanma verimliliği %15 artar.
- ✓ Yeni tesislerde kurulum boyutu yaklaşık %30 düşer.
- ✓ İyileştirilmiş sıcaklık homojenliği ve düşük emisyonları içerir.
- ✓ Uygun kontrollerle, toplam işletme maliyetlerini ve yakıt maliyetleri düşer.
- ✓ Çelik kalitesini ve üretimini artırır.
- ✓ Çatlakları azalır.
- ✓ Sera gazı CO₂ emisyonu azalma, 16,2-20 kg CO₂/ton kütük. Doğal gazla çalışan klasik sistemlere göre CO₂ en az %35 azalır.
- ✓ Gürültü kirliliği azalır.
- ✓ Alüminyum eriyiklerde, metal oksidasyon potansiyeli azalır, çünkü fırında serbest oksijen üretilmez.
- ✓ Yanma sıcaklığı üniformdur (değişmez).
- ✓ Hava kademeli yanma, ateşte dik sıcaklık veya gaz bileşimi geçişi olmadan daha uzun stabil alevler üretir.
- ✓ NO_x ve karbondioksit emisyonları, soğuk hava brülörüyle karşılaştırıldığında sırasıyla %30-40 oranında azalır. NO_x emisyonu, 0,042-0,048 lb/MMBtu düşürülür.
- ✓ NO_x ve SO_x emisyonları azaldığı için asit yağmuru önlenir.
- ✓ Bir toplayıcı sistemi yanma havasını yalnızca 400 °C'ye kadar ön-ısıtır; rejeneratif bir sistem yanma havasını 1150 °C'ye kadar ısıtır.
- ✓ Yanma kaybı %50 azalır.
- ✓ Rejeneratif brülörleri ve kontrolleri bir alüminyum eritici üzerine kurulduktan sonra, üretim oranı %59 artarken, enerji tüketim miktarı %33 azaldığı tespit edildi.
- ✓ Bir alüminyum eritme fırını üzerine yerleştirilmiş iki rejeneratif brülör, ısı dağılımını iyileştirdi ve %15 ila 20 arasında enerji tasarrufu sağladı.
- ✓ Çift rejeneratif brülör ile güçlendirilmiş bir alüminyum fırın, orijinal geri kazanma sistemine kıyasla %30'dan fazla yakıt tasarrufu sağladı; erime hızı arttı.
- ✓ Rejeneratif brülörler metal endüstrisinde işletme maliyetlerini düşürmeye yardımcı olmaktadır.

- ✓ Mevcut yüksek fırınların tümüne uygulanabilir.
- ✓ Yeni iş alanları oluşturur.

Rejeneratif brülör işlemi, baca gazı kayıplarından atık ısıyı kurtarır ve yanma için kullanır. Rejeneratif brülörler biri diğerinde olduğu gibi egzoz görevi gören çiftler halinde monte edilir. Baca gazları tükendiğinde, ısı geri kazanılır ve refrakter (seramik) ortam yatağında depolanır. Ateş ederken, yanma havasını ısıtmak için ısı refrakterden geri kazanılır. Pişirme döngüsünün ikinci yarısında, brülörler, ilk yerine ikinci brülörün yanmasıyla rolleri tersine çevirir. Ateşleme döngüsü her 30 ila 40 saniyede bir olabilir.

5. UYGULAMA ALANLARI

Sanayide uygulama alanları; alüminyum ergitme fırınları, çelik tav fırınları, ısıl işlem fırınları, yürüyen kirişli fırınlar, plaka/kütük ısıtma fırınları, ergitme fırınları, biyet dökümler, sıcak şerit haddeleme fırını, haddeleme işlemindeki tüm fırınları, sürekli galvanizleme hattı, seramik fırınları ve demir dışı metal ergitme fırınları gibi kompakt yüksek sıcaklıkta işlemlerin olduğu fırınlarda ideal olarak uygulanabilir. Yakıt verimliliğinin büyük azaltma etkisinden dolayı, bu sistem yukarıda sıralanan fırınlarda ısıtma ve pişirme fırınları dahil olmak üzere nispeten yüksek sıcaklık fırınlarında özel olarak benimsenmiştir.

Rejeneratif brülör sistemlerinde doğal gaz, LPG, blast (yüksek) fırın gaz (BFG veya BF) ve karışımları kullanılabilir. BFG, demir oksidin, demir cevherinin, döküm demire kokla, termindirgenmesi ile yan ürün olarak oluşur. Bu yan ürün yüksek oranda karbon monoksit (CO) içerir. BFG'ın kalorisi (700-750 kcal/Nm³ veya 0.9 kWh/Nm³) düşük olduğu için tek başına kullanılması sınırlıdır. Ancak bu yan ürün enerji amaçlı olarak kullanılabilir. Genelde ön ısıtmalı fırınlarda kalorifik düşük BFG %10 ile kalorisi yüksek doğal gazla %90 oranında, yani hacim olarak %80 BFG ve %20 doğal gaz, birleştirilerek, rejeneratif brülör sisteminde, kullanılır.

Diğer yandan AB destekli bir projede Belçika'daki bir demir çelik tesisinde çift ısıtmalı fırında BFG doğrudan kullanılmış, 1000 °C sıcaklığa ulaşılmış ve başarılı sonuç alınmıştır. Bu sistemler doğal gaz kullanımı %10 düşerken BFG kullanımı %90 çıktı. BFG, enjeksiyon hızı 100 m/sn, yanma havasının hızı 70 m/sn, bu verimli yanmayı gösteriyor.

Kısaca, metalürji endüstrisinde yoğun olarak kullanılır. Brülör gövdesi, kompakt ve mono blok yapıdır. Tüm sistem, daha küçük boyutlu olduğu için yatırım maliyeti düşüktür. Fırında özel düzenlemeye ihtiyaç yoktur.

Son yıllarda, yüksek sıcaklıktaki egzoz ısını ve bilgisayarlı yüksek hassasiyetli bir yanma kontrol sistemini ve vanaları etkin biçimde (otomatik) kullanan rejeneratif bir brülörün benimsenmesiyle, ürün daha fazla enerji tasarrufu ve küresel ısınmanın önlenmesine katkıda bulunmaktadır.

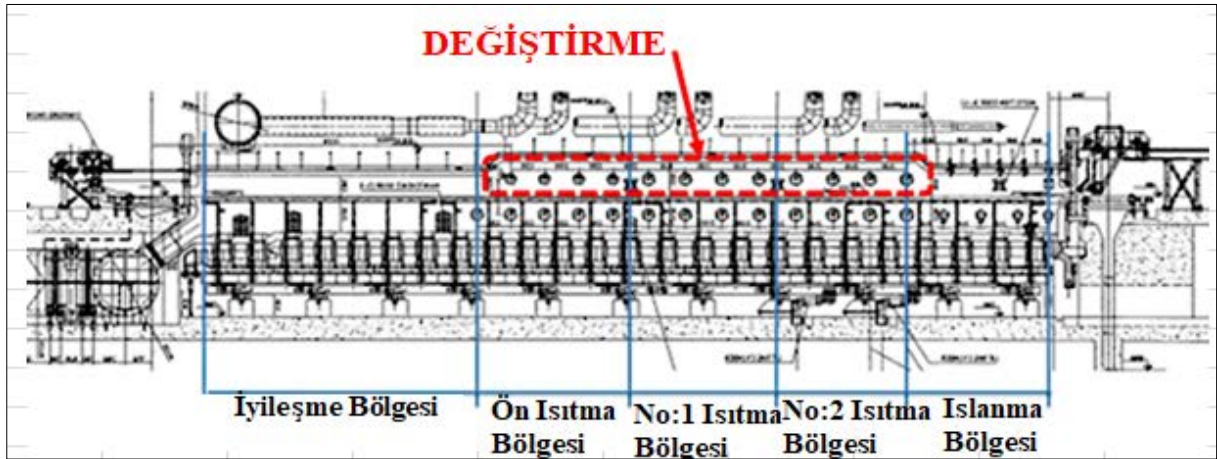
Her ne kadar rejeneratif brülör sistemlerinin kurulumu ve kullanımı genellikle daha pahalı olsa da, bu ilave maliyetler geri kazanılmakta ve yakıt kullanımındaki azalma ile ek tasarruflar



gerçekleştirilmektedir. Geri ödeme süresi, tesis kapasitesi arttıkça kısalmaktadır. Kısaca, geri ödeme süresi tipik olarak, 7 ila 16 ay arasında değişmektedir.

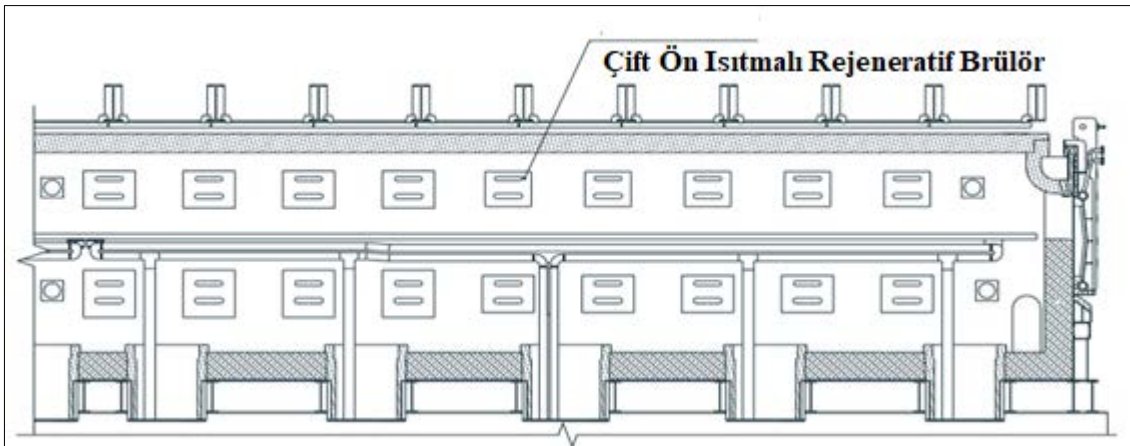
6. MEVCUT SİSTEMLERE UYGULAMA

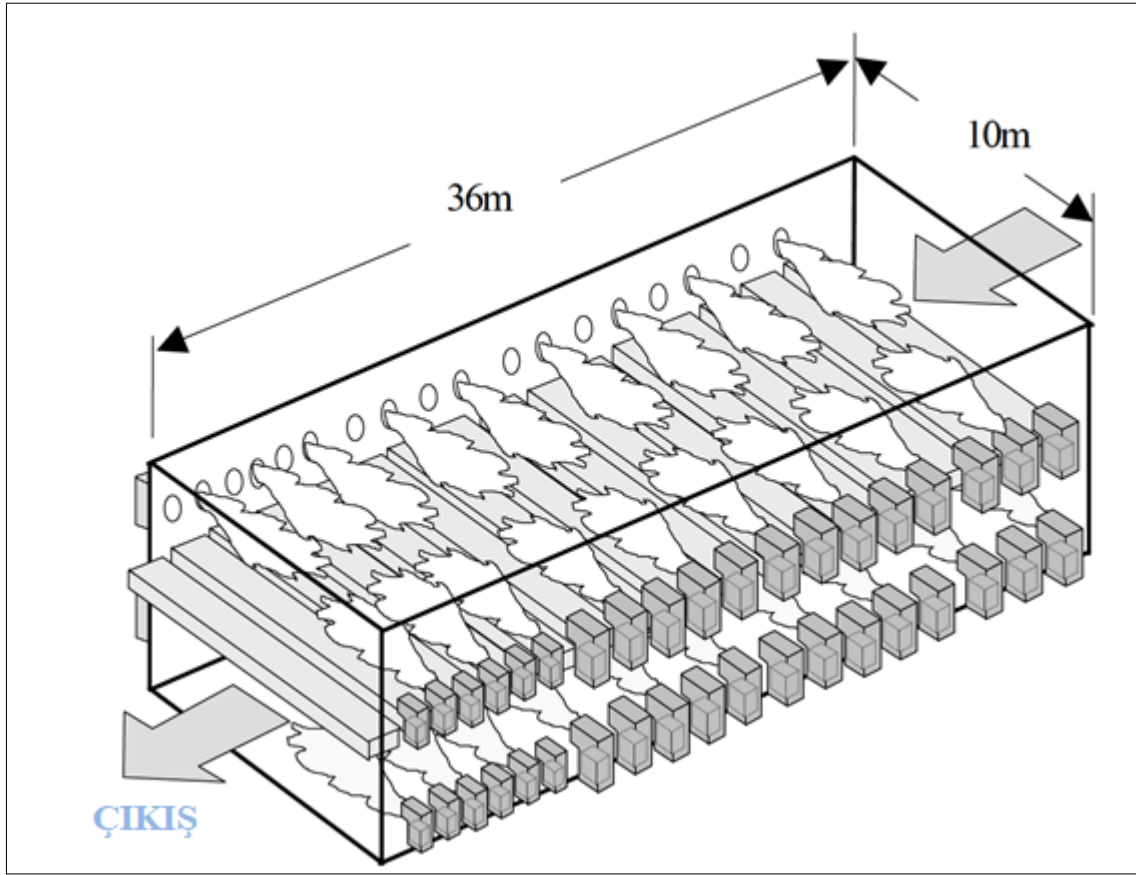
RSP'nin levha üretim tesislerinden birinde, mevcut levha yeniden ısıtma fırını içindeki bir toplayıcı (metalik bir ısı eşanjörü tarafından önceden ısıtılmış hava) kullanılarak ısı geri kazanımı elde edilir. Ön ısıtma bölgesindeki üst brülörler ve 1 ve 2 numaralı ısıtma bölgelerinde bulunan brülörler yüksek yoğunluklu yanmalarından dolayı daha fazla yakıt tükettikleri için, rejeneratif brülörlere dönüştürülmüştür (üç üst bölgedeki 24 brülör seti kaldırılmış ve daha fazla enerji tasarrufu için 12 çift rejeneratif brülör kullanılmıştır).



Şekil 6.1 Mevcut Fırının Yeniden Rejeneratif Fırına Dönüşümü

Çift ön ısıtma rejeneratif brülör yeniden ısıtma fırını içindeki brülör düzenlemesi için bir örnek, Şekil 6.2'de gösterilmiştir.





Şekil 6.2 Fırınlarda Brülörlerin Düzenlenmesi

Rejeneratif brülör sistemlerinin mevcut sistemlere, hiçbir değişiklik yapılmadan, kurulum süresi ortalama 2 aydır. Bu sistem, fırındaki refrakter tuğlaların yenilenmesi esnasında ekonomik olur. Çünkü bu süre zarfında üretim yapılmamaktadır.

Mevcut sistemin boyutları, kapasitesi ve pozisyonu dikkate alınarak rejeneratif brülör sistemi seçilir ve monte edilir. Kullanılan yakıt tipi ve kapasitesi de rejeneratif brülör sisteminin dizaynını ve işletmesini etkilemektedir.

Rejeneratif brülör sistemleri, kompakt yüksek sıcaklık fırınlarına uygulanır.

Sistem uygulamaya konduğu zaman ciddi yakıt tasarrufu yapılmakta, ürün kalitesi artmakta, fırının ömrü uzamakta, malzeme tasarruf edilmekte, daha ekonomik olarak ürünlerin piyasaya sunulması sağlanmakta, çevre kirliliği minimize edilmekte ve ürün başına karbon ayak izi azaltılmaktadır.

7. KAYNAKLAR

1. Regenerative Burner as Energy Saving In Indian Steel Mills, Chugai Ro Co., LTD, 2015.
2. Massimiliano Fantuzzi, Jared Kaufman “Tenova Regenerative Flameless Burners on California Steel Industries’ New Walking Beam Furnace” Conference Paper · May 2013.
3. “Regenerative burner combustion system (rbcs) program for steel industries in Indonesia” Facilitating Implementation and Readiness for Mitigation (FIRM) PROJECT – INDONESIA, 2016.
4. Xie Shanqing, Wu Daohong, “Design Features of Air and Gas Double Preheating Regenerative Burner Reheating Furnace”, The 12th International Conference on Combustion & Energy Utilisation – 12ICCEU, Energy Procedia 66 (2015) 189 – 192.
5. 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).
6. “Regenerative burner combustion system (RBCS)”, <http://tech-action.org/>.
7. 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.
8. Technologies Customized List and Technologies One by One Sheets, 2014.
9. TECHNOLOGIES CUSTOMIZED LIST “For Technology Transfer to ASEAN Iron and Steel Industry With regard to Energy-Saving, Environmental Protection, and Recycling” 2014.
10. Marco Ageno, Alessandro Della Rocca, Massimiliano Fantuzzi and Maurizio Senarega “Tenova FlexyTech® regenerative flameless burners” http://millennium-steel.com/wp-content/uploads/2014/02/pp115-122_ms11.pdf. 2014.
11. Shinichiro Fukushima, Yutaka Suzukawa “Eco-friendly Regenerative Burner Heating System Technology Application and Its Future Prospects”, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.472.1981&rep=rep1&type=pdf>.