

# EKONOMİZERLER VE DÜŞÜK SICAKLIK KOROZYONU

*Çağdaş YEŞİL*

*Makine Yüksek Mühendisi*

*ENEVA ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİK SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.*

*cagdas@enevaenerji.com.tr*

## ÖZET

Enerji geri kazanımı, gerek maliyetlerin azaltılarak rekabet gücünün devamı, gerekse de emisyon salınımlarının azaltılarak çevre bilincinin sürdürülebilmesi açısından günümüzde çok kritik bir pozisyondadır. Ekonomizerler özellikle fosil enerjinin en fazla tüketildiği alan olan kazan uygulamalarında enerji geri kazanımı açısından önemli yere sahiptir. Burada önemli olan, atık enerjinin, yatırım maliyeti ve geri kazanım optimizasyonu açısından irdelenerek doğru yöntemin belirlenmesidir. Ekonomizerlerde geri kazanımı sınırlayıcı en önemli parametre duman gazı tarafındaki düşük sıcaklık korozyonudur. Bu çalışmada ekonomizerler hakkında genel bilgi verildikten sonra düşük sıcaklık korozyonu temel hatlarıyla incelenecek ve geri kazanımı arttırabilecek çeşitli yöntemler hakkında temel bilgiler aktarılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji geri kazanımı, ekonomizerler, düşük sıcaklık korozyonu

## ECONOMIZERS AND COLD-END CORROSION

### ABSTRACT

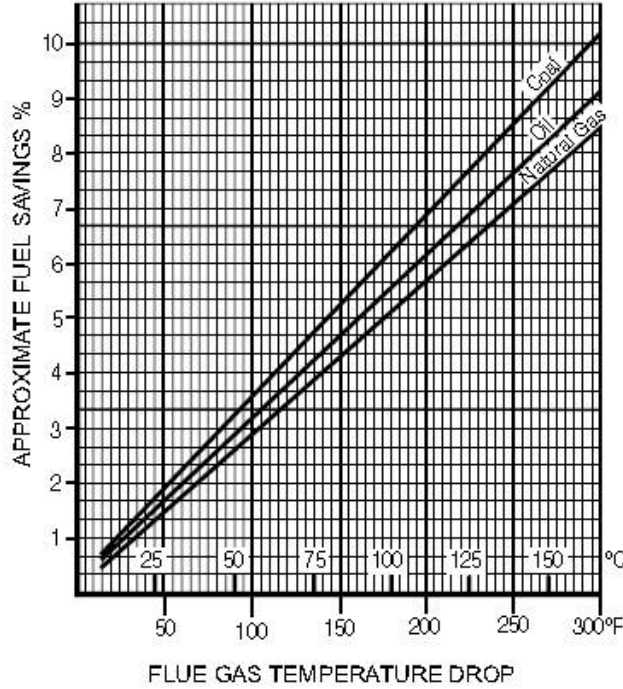
Energy recovery today is in a very critical position in terms of maintaining the competitiveness by reducing costs and sustainability of environmental awareness by reducing emissions. Economizers have an important role in boiler applications which consume the most of the fossil energy in recent years. What is important here is to determine the correct method by optimizing energy recovery and investment costs. The most important parameter limiting the heat recovery in economizer applications is cold-end corrosion on the smoke side. In this study, economizers and cold-end corrosion will be examined in general and basic informations will be given about various methods to increase energy recovery in economizers.

**Keywords:** Energy recovery, economizers, cold-end corrosion

\* Bu makale, iki bölüm halinde TESİSAT DERGİSİ'nin 196. ve 199. sayılarında yayımlanmıştır.

# GİRİŞ

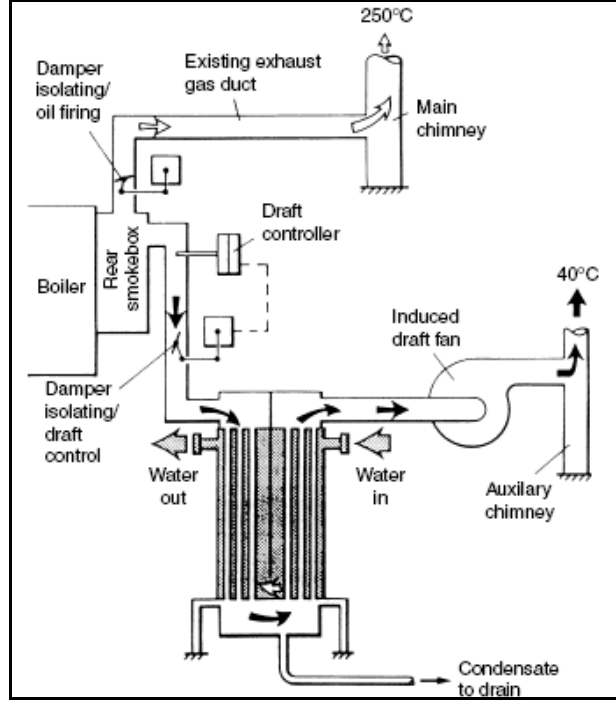
Ekonomizer tanım olarak; her hangi bir ısı kazanının duman gazı sıcaklığını düşürerek düşük sıcaklıktaki bu ısıyı geri kazanan ve yakıttan ekstra tasarruf sağlayan ısı değiştiricisi anlamına gelmektedir. Sıcak su kazanı ve kızgın yağ kazanı gibi bir çok diğer kazan tipinde de kullanılmakla birlikte, asıl yaygın olduğu alan buhar kazanlarıdır. Günümüzde özellikle büyük kapasiteli buhar kazanlarının vazgeçilmez ünitelerindedir. Hava fazlalık katsayısı ve yakıt türüne göre değişmekle birlikte, duman gazı sıcaklığındaki yaklaşık 21 °C düşüş toplam kazan veriminde ortalama 1% artış anlamına gelmektedir. [1,2] Bu değer aynı zamanda yakıt sarfiyatındaki azalmayı gösterir. Hava fazlalık katsayısının yüksek olduğu kojenerasyon uygulamalarında (özellikle gaz türbini uygulamaları) oluşan duman gazı debisi daha fazla olduğu için %1'lik verim artışı için gereken sıcaklık düşümü değeri daha azdır. Kazan uygulamaları için normal hava fazlalık katsayılarına ve yakıt türlerine göre yaklaşık tasarruf miktarları Şekil 1'de görülebilir.



Şekil 1. Bacagazı Sıcaklığındaki Azalmaya Bağlı Olarak Kazandaki Verim Artışı [1]

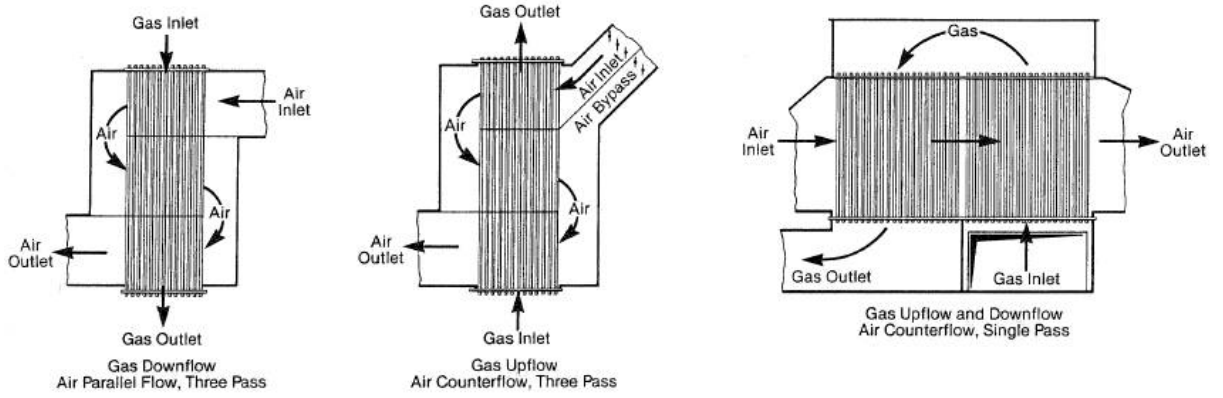
Şekil 1'de görülen değerler duman gazının bünyesindeki su buharının yoğuşmaması durumunda elde edilebilecek değerlerdir. Fakat özellikle doğal gaz uygulamalarında duman gazı içerisinde %10 civarında su buharı bulunur. Eğer gerekli önlemler alınıp duman gazı örneğin 40-50 °C'e kadar soğutulabilirse bünyesindeki su buharı kısmen de olsa yoğuşur ve toplam kazan verimi alt ısı değere göre %100'ün üzerine rahatlıkla çıkartılabilir. Yoğuşma sıcaklığı duman gazındaki su buharı miktarına bağlıdır ve su buharı miktarı arttıkça yoğuşma sıcaklığı da artar. Örneğin su buharı oranının fazla olduğu bir doğal gaz kazanının duman gazında yoğuşma sıcaklığı 56 °C civarında iken, su buharı oranının düşük olduğu bir gaz türbini egzozunda yoğuşma sıcaklığı 40 °C civarındadır. Yoğuşma sıcaklığı belirlenirken su buharının molar yüzdesi hesaplanır, buradan su buharının toplam gaz basıncı içindeki kısmi basıncı bulunur ve bu kısmi basınca denk gelen doyma sıcaklığı yoğuşma sıcaklığı olarak belirlenir. Yoğuşmalı ekonomizerlerde bir diğer önemli konu da gaz tarafındaki basınç düşümüdür. Gerekirse cebri çekimli bir fan ile duman gazını tahliye etmek çoğu uygulamalarda karşılaşılan bir durumdur. Bir yoğuşmalı ekonomizer uygulaması Şekil 2'de görülebilir.

Buhar kazanının evaporatör kısmı sabit sıcaklıkta bir ısı değiştirici olduğu için duman gazı sıcaklığını doymuş buhar sıcaklığının altına düşürmek termodinamik olarak imkansızdır. Gaz çıkış sıcaklığı evaporatör doyma sıcaklığına ne kadar fazla yaklaşırsa evaporatör ısı yüzeyi de aynı doğrultuda logaritmik olarak artar. Ayrıca ekonomizerdeki su tarafı sıcaklık ortalaması daha düşük olduğu için aynı ısıyı kazanabilmek için evaporatöre göre daha az ısı yüzeyi gerekir. Duman gazı sıcaklığının evaporatör işletme sıcaklığına yaklaşma derecesi literatürde *Pinch Temperature* olarak tanımlanmıştır. Dizayna ve işletme şartlarına bağlı olmakla birlikte, brülörlü kazanlarda bu değer 20 ila 50 °C arasında olabilirken, atık ısı kazanlarında 10 ila 25 °C arasında değişir. Düşük *Pinch Temperature* yüksek verim sağlarken aynı zamanda da yüksek yatırım maliyeti ve yüksek duman gazı direnci anlamına gelir. Bu nedenle özellikle atık ısı kazanlarında tüm bu parametrelerle birlikte optimizasyon çalışmaları yapılarak sistem dizayn edilir.



Şekil 2. Yoğuşmalı Ekonomizer Uygulamasına Bir Örnek [1]

Endüstriyel kazanlarda benzer olarak kullanılan bir başka ısı geri kazanım cihazı da hava ısıtıcıdır. Piyasada reküperatör olarak da adlandırılabilen bu cihazlar, aşağıda da belirtilecek olan nedenlerden dolayı endüstriyel uygulamalar için ekonomizerler kadar cazip değillerdir.



Şekil 3. Yakma Havası Isıtıcı Düzenlenme Şekilleri [2]

### Hava Isıtıcılar ile Ekonomizerlerin Karşılaştırılması

Hava ısıtıcılar ekonomizerler kadar yaygın olmamakla birlikte özellikle pülverize kömür yakan güç kazanlarında yanmayı iyileştirmek için tercih edilirler. Bunun dışında endüstriyel uygulamalarda özellikle kızgın yağ kazanlarının yakma havasını ısıtmak için de kullanımları yaygındır. Ekonomizlere göre dezavantajları şöyle özetlenebilir;

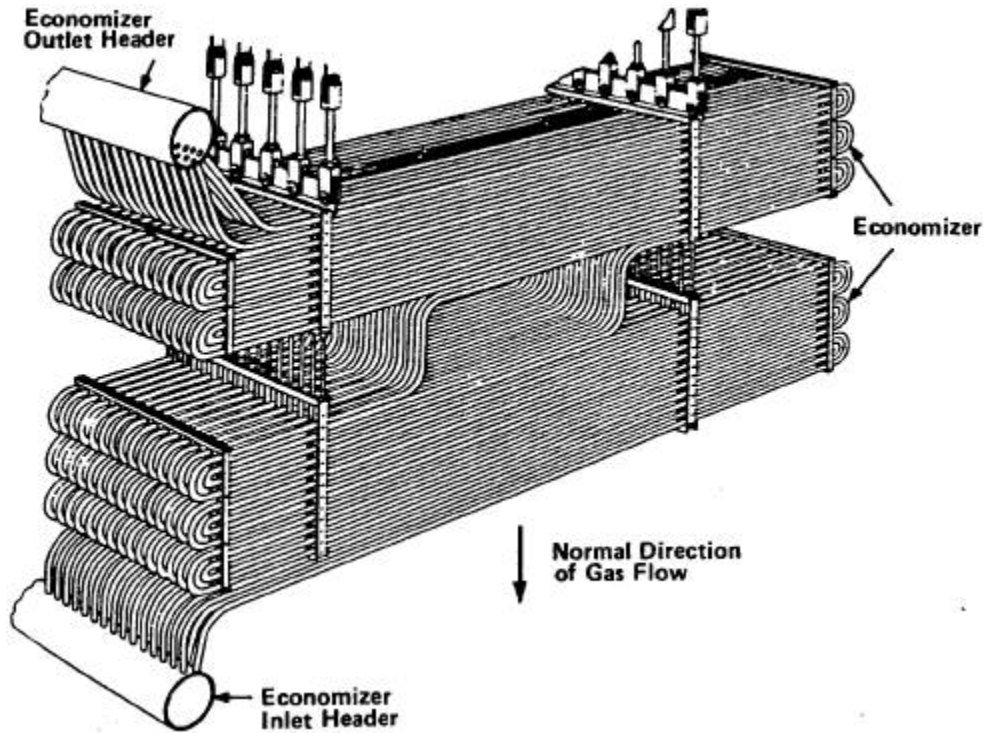
- Gazdan havaya olan ısı transfer katsayısı gazdan suya olan ısı transfer katsayısından çok daha düşük olduğu için genellikle daha büyük ısıl yüzey gerektirirler. Bu nedenle ilk yatırım maliyetleri daha fazladır ve daha büyük yerleşim hacmine ihtiyaç duyarlar.
- Isıl yüzeyleri fazla olduğu için gaz tarafı ve özellikle hava tarafında yüksek basınç kayıplarına neden olurlar. Ayrıca havanın oksijen yoğunluğu azaldığı için daha yüksek hacimsel debi gereksinimi doğar. Bunlar da brülör motor gücünün büyümesine neden olarak ilk yatırım ve işletme maliyetlerini arttırmaktadır.

- Zayıf ısı transferinden dolayı yüksek duman gazı ve hava sıcaklıklarında özel boru malzemeleri gerekebilir. Bu da yatırım maliyetini artırır.
- Yakma havası sıcaklığındaki ortalama her 100 °C artış alev sıcaklığında yaklaşık 50 °C artışa neden olmaktadır. Bu durum NO<sub>x</sub> oluşumu artırır. NO<sub>x</sub> türevleri ise nitrik asit yağmurları, istenmeyen ozon oluşumu ve partikül oluşumu gibi etkilerle insan sağlığını ciddi ölçüde tehdit etmektedir.
- Hava ısıtıcılarda hava ve gaz tarafı ısı transfer katsayıları biri birilerine yakın olduğu için ekonomizerlerdeki gibi kanatlı yüzeyler kullanarak kompaktlık sağlamak pek mümkün değildir.

#### Ekonomizerlerin Tipleri ve Genel Yapıları

Ekonomizerler duman borulu ve su borulu tiplerde üretilmekte olup, su borulu konstrüksiyonlar daha yaygın kullanılmaktadır. Duman borulu ekonomizerlerde, duman gazı boru içinden akarken su ise boru dışında çok daha düşük bir hızla dolaşır. Bu nedenle ısı transfer katsayıları düşüktür. Dolayısıyla aynı kapasite için daha yüksek ısı transfer yüzeyi gerekir. Kapladıkları hacim fazladır, buna bağlı olarak yatırım maliyetleri de yüksektir. Su hacimleri çok fazla olduğu için özellikle çok fazla duruşa geçen sistemlerde ısı kaybına neden olurlar. Soğuk kalkıştan rejime girene kadar belirli bir süre geçer, bu süre su borulu konstrüksiyonlara göre çok daha fazla olduğu için boru cidarlarındaki yoğuşma süresi de daha fazladır. Buna bağlı olarak da boru delinmeleri daha erken oluşur. Buna rağmen günümüzde özellikle kömür ve benzeri kurum potansiyeli yüksek yakıtlarda kısmen tercih edilmektedirler. Bu çalışmada üstünlükleri nedeniyle su borulu ekonomizerler incelenecektir.

Su borulu ekonomizerlerde ısınan su boru içinden ısınan gaz ise boru dışından akar. Boru içerisindeki su hızı geçiş sayısı artırılarak yüksek tutulabilir, böylece iyi bir ısı transfer katsayısı elde edilebilir. Sonuç olarak oldukça kompakt ve düşük maliyetli bir dizayn yapılmış olur. Gaz tarafında da geçiş sayısı artırılarak istenen ısı transfer yüzeyi elde edilebilir. Şekil 4'te gaz tarafı tek geçişli bir su borulu ekonomizer görülmektedir.



Şekil 4. Bir Güç Kazanı İçin Dizayn Edilmiş Su Borulu Ekonomizer [6]

Isıtma yüzeyleri için kullanılacak olan borular 1" ile 2" arasındaki çaplarda, dikişli veya dikişsiz olarak seçilebilir. Önemli olan uygulama şartlarına göre doğru malzemenin kullanılmasıdır. Boru dizilimi kare veya saptırmalı olabilir. Saptırmalı diziliş daha iyi ısı transfer katsayısı verirken gaz tarafı basınç düşümü daha fazladır. Buna rağmen doğalgaz gibi temiz yakıtlarda genellikle tercih edilen yöntemdir. Partikül yükü fazla olan uygulamalarda ise temizleme kolaylığından dolayı daha çok kare diziliş tercih edilir.

Su tarafındaki hız kabul edilebilir basınç kaybına bağlı olmakla birlikte, 1 - 2,5 m/s arasında seçilebilir. [10] Gaz tarafındaki hızlar ise yine basınç düşümü ve daha da önemlisi duman gazının korozif yapısına bağlıdır, 10 - 20 m/s arasında değişebilir. [2] Dizayn gerçekleştirilirken, basınç düşümü ve ısı transferi optimizasyonunun yanı sıra ısıl genleşmeler, titreşimler ve müdahale edilebilirlik gibi etmenler de göz önünde bulundurulmalıdır. Su ve

gaz akışlarının ters istikamette olması, ısı transferinin etkinliği açısından en uygun düzenlemedir. Ayrıca su akışının aşağıdan yukarıya doğru düzenlenmesi olası buhar ceplerinin yaratacağı ölü noktaları azaltmaya yardımcı olur. Ekonomizer ısıl yüzeyleri düz borulardan veya kanatlı borulardan oluşabilir. Toplam ısı transfer katsayısını esas olarak belirleyen gaz tarafıdır. Gaz tarafındaki bu yüksek ısıl direnci azaltabilmek için kanatlar yani genişletilmiş ısıl yüzey elemanları kullanılır. Kanatlı borular özellikle temiz yakıtlarda büyük avantaj sağlar. Aynı boru metraji için ısıl yüzey on katına kadar artırılabilir. [2] Maliyet ise orantılı olarak artmaz, çünkü kanat malzemesi ve işçiliği genellikle borunununkinden daha düşüktür. Kanatlar çeşitli yapılarda üretilmekte olup en yaygın kullanılan tipleri dikdörtgen kesitli helisel ve segmentli kanatlardır. Segmentli kanatlar yüksek türbülans oluşturmaları nedeniyle daha iyi ısı transferi sağlarken aynı zamanda basınç düşümleri de daha fazladır. Kanat hatveleri doğal gaz için 3 mm'ye kadar inebilirken FO ve benzeri yakıtlar için 12-13 mm'ye kadar çıkartılabilir. [6] Maliyeti ciddi oranda arttırmakla birlikte, doğrusu kanatların boruya temas yüzeyi boyunca kaynaklanmasıdır. Böylece etkin bir ısı transferi ile birlikte uzun kullanım ömrü sağlanmış olur. Ekonomizer boruları su ile etkin bir ısı geçişi sağladıklarından genellikle iyi soğumaktadırlar. Boru cidar sıcaklığı genellikle içerdeki su sıcaklığından 5-10 °C fazladır. Bu nedenle korozyon ihtimali görülmedikçe mukavemet açısından da uygunsuz çoğu uygulamalar için örneğin St 35.8 kazan borusu kullanılabilir. Çok yüksek basınçlarda veya korozyon ihtimali görülen durumlarda özel alaşımlı malzemeler seçilebilir. Kanat malzemeleri ise kanat ucu metal sıcaklığının hesaplanmasıyla belirlenir. Burada mukavemet önemli değildir, sadece malzemenin üst kullanım sıcaklığı, gerekiyorsa korozyon direnci ve soğuk işlenebilirliği söz konusudur. Normalde 350 °C malzeme sıcaklığına kadar St 37 sac kanat malzemesi kullanılabilir. Daha yüksek sıcaklıklar için ise AISI 409 gibi soğuk şekillendirme kabiliyetleri de iyi olan ferritik paslanmazlar tercih edilebilir. Yoğuşmanın söz konusu olduğu durumlarda ise kaynak kabiliyeti iyi olan AISI 304L, AISI 316L veya yüksek asidik direnci olan AISI 316Ti gibi östenitik paslanmazlar hem boru hem de kanat için tercih edilebilir.



Şekil 5. Ekonomizerlerde Yaygın Olarak Kullanılan Kanat Türleri

## KOROZYON

Korozyon genel itibarıyla malzemenin dış ortam akışkanı ( $H_2O$ ,  $SO_3$ ,  $NO_x$ ,  $HCl$ ,  $O_2$  veya  $CO_2$ 'in oluşturduğu asidik akışkanlar) ile reaksiyona girerek aşınması olarak tanımlanabilir. Ekonomizer ve benzeri ekipmanlarda en çok yaşanan problemlerdendir. Genel olarak boru içi ve boru dışı korozyon olarak gruplandırılabilir. Boru içi korozyon ısıtılan akışkan içerisindeki mevcut  $O_2$  ve  $CO_2$  gibi korozif gazlar nedeniyle gerçekleşir. Bu amaçla besi suyu genelde 105 °C mertebesinde degaze edilerek kazana beslenir. Fakat su sıcaklığının daha düşük olduğu durumlarda mevcut korozif gazlar ekonomizer borularında delinmeye neden olabilmektedirler. Bu çalışmada asıl olarak gaz tarafındaki korozyon incelenecektir. Gaz tarafındaki korozyon yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık korozyonu şeklinde ayrılabilir.

### Yüksek Sıcaklık Korozyonu

Özellikle FO gibi ağır yakıtların yakılması sonucu korozif sodyum ve vanadyum tuzları oluşmakta ve bu tuzlar yüksek sıcaklıklarda eriyerek boru yüzeylerine yapışmaktadır. Bu durum potansiyel bir korozyon tehlikesi yaratmaktadır. Ayrıca duman gazı tarafında oluşacak 1 mm kalınlıkta bir tabaka kazan verimini %2'ye kadar düşürebilmektedir. Bunun önüne geçebilmek için ısıtma yüzeyleri birikmeyi en aza indirecek şekilde dizayn edilmeli ve yakıt külü içerisindeki vanadyum miktarının 100 ppm seviyesini aşmamasına dikkat edilmelidir. [10] Ekonomizerler çok yüksek gaz sıcaklıklarına maruz kalmadıkları için bu problem düşük sıcaklık korozyonu kadar karşılaşılan bir problem değildir.

### Düşük Sıcaklık Korozyonu

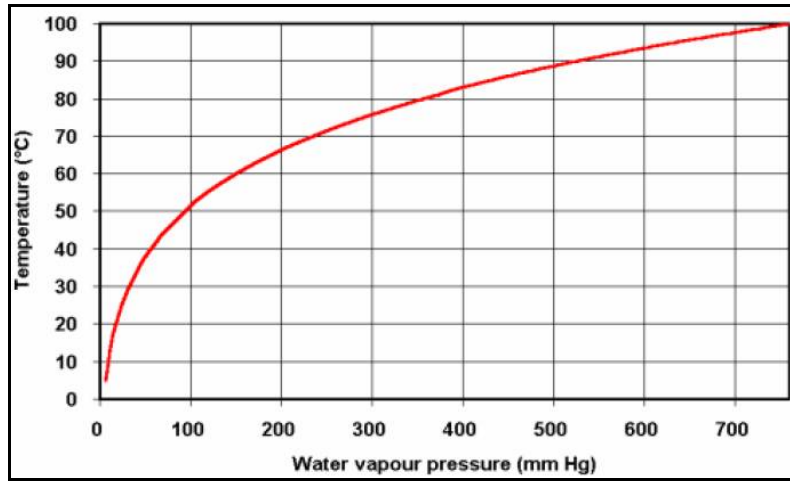
Yanma sonucu oluşan duman gazı çeşitli moleküllerin birleşiminden oluşan bir karışımdır. Bu karışımın sıcaklığı azaldıkça içindeki gaz bileşenleri yoğuşmaya başlar. Çok düşük sıcaklıklarda yoğuşmaya başlayan bileşenler olduğu gibi ( $\text{NO}_x$ ) çok yüksek sıcaklıklarda yoğuşmaya başlayanlar da vardır. Aşağıdaki tablolarda da görülebileceği üzere yoğuşma sıcaklığı en yüksek olan bileşen kükürt tri oksitir ( $\text{SO}_3$ ). Bu nedenle doğalgaz ve FO yakan kazanlarda sülfürik asit korozyonu en sık karşılaşılan durumdur.

$\text{SO}_3$ 'in neden olduğu sülfürik asit korozyonu, metal sıcaklığının duman gazındaki  $\text{SO}_3$ 'in yoğuşma sıcaklığının altına düşmesi durumunda gerçekleşir. Genellikle ekonomizer, hava ısıtıcı, duman kanalları ve baca gibi düşük sıcaklık bölgelerinde görülür. Düşük sıcaklık korozyonu analizi yapabilmek için öncelikle duman gazı analizine ve mevcut bileşenlerin yoğuşma sıcaklıklarına bakmak gerekir. Aşağıdaki tablolarda suyun ve diğer yaygın koroziv gazların kısmi basınçlarına bağlı olarak yoğuşma sıcaklıkları görülmektedir.

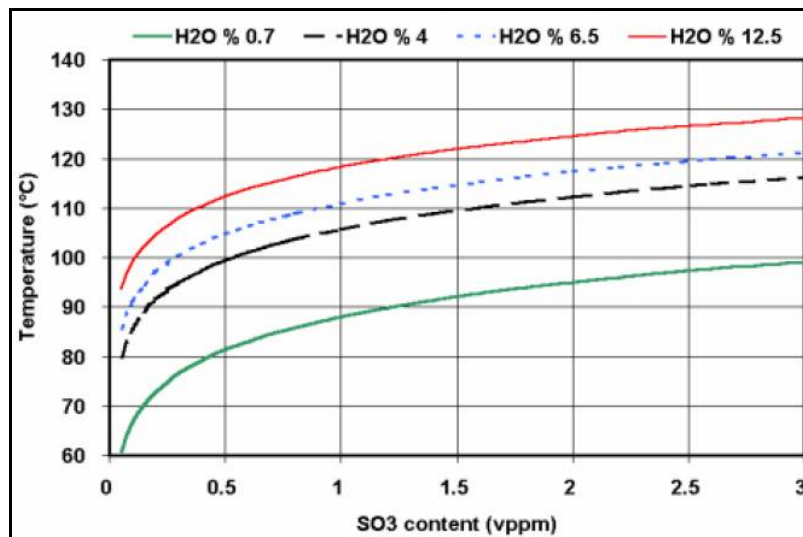
Korozyon analizi yapılırken dikkat edilmesi gereken noktalar özetle şöyledir;

Her bir gaz bileşeninin kısmi basınçları ve boru metal sıcaklığı göz önüne alınarak hangi gaz bileşeninin yoğuşacağı belirlenmelidir.

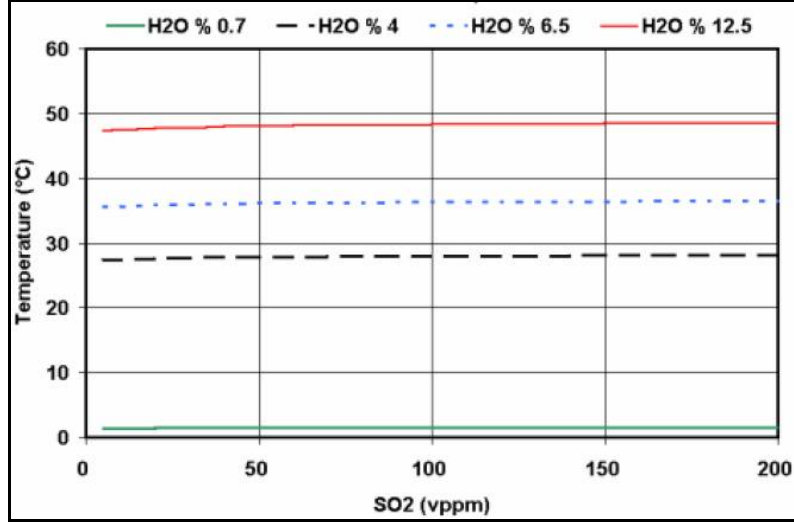
Bu bileşenin yoğuşması esnasında ne karakterde bir koroziv ortamın oluşacağı belirlenerek kullanılacak malzemeler belirlenmeli veya yoğuşması istenmiyorsa gereken önlemler alınmalıdır.



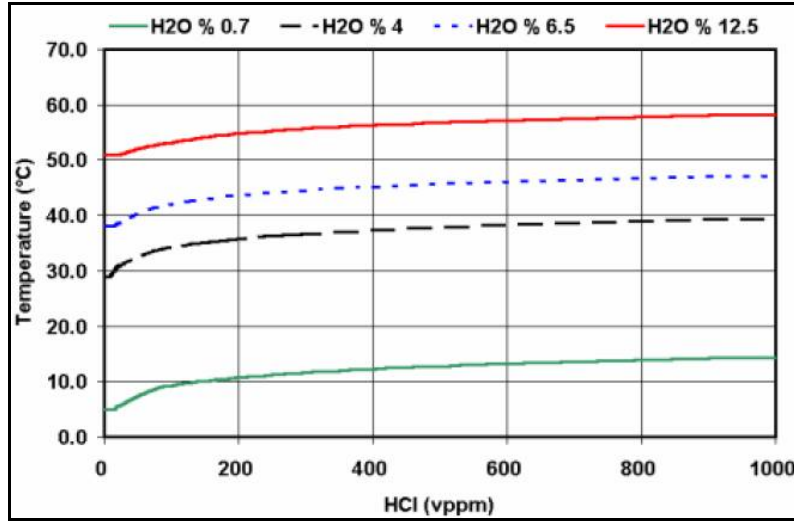
Şekil 6. Su Buharının Kısmi Basıncına Göre Yoğuşma Sıcaklıkları. [3]



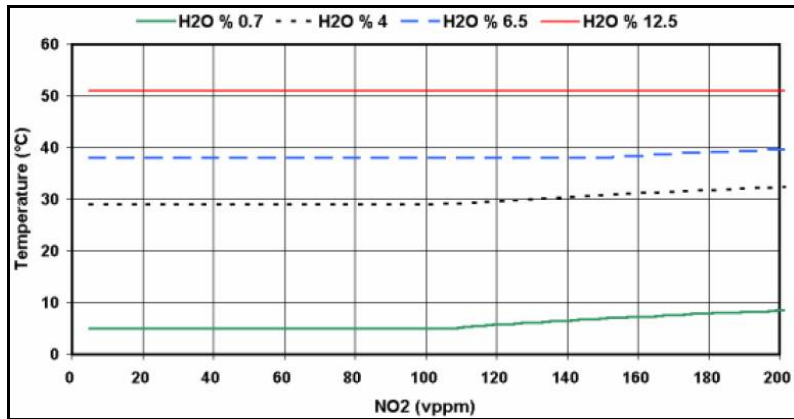
Şekil 7.  $\text{SO}_3$  'in Hacimsel Bileşimine ve Gazdaki Su Buharı Yüzdesine Göre Yoğuşma Sıcaklıkları. [3]



Şekil 8. SO<sub>2</sub>'in Hacimsel Bileşimine ve Su Buharı Yüzdesine Göre Yoğuşma Sıcaklıkları. [3]



Şekil 9. HCl'in Hacimsel Bileşimine ve Su Buharı Yüzdesine Göre Yoğuşma Sıcaklıkları. [3]



Şekil 10. NO<sub>2</sub>'in Hacimsel Bileşimine ve Su Buharı Yüzdesine Göre Yoğuşma Sıcaklıkları. [3]

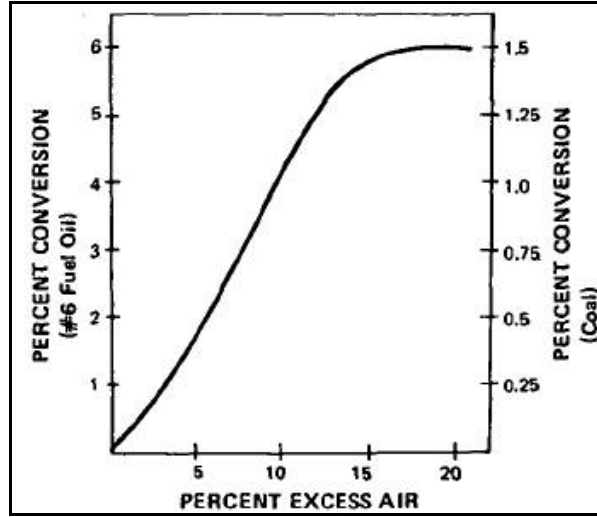
Tablolardan da görülebileceği üzere düşük sıcaklık korozyonu açısından en riskli bileşen kükürt tri oksittir. (SO<sub>3</sub>). Temel olarak yakıt içindeki kükürt ve yakma havasındaki oksijen reaksiyona girerek kükürt dioksit'i oluşturur. (SO<sub>2</sub>)



Bu reaksiyondan sonra oluşan  $SO_2$ 'nin çok az bir kısmı, yakıtta ve hava fazlalık katsayısına bağlı olarak alev içerisindeki atomik oksijen ile reaksiyona girerek korozyon potansiyeli en fazla olan  $SO_3$ 'i oluşturur. (Şekil 11)



Bunun yanında yakıt içerisindeki Vanadyum ve Nikel gibi elementler de katalitik etki yaratarak  $SO_3$  dönüşüm oranını arttırmaktadırlar. [7]

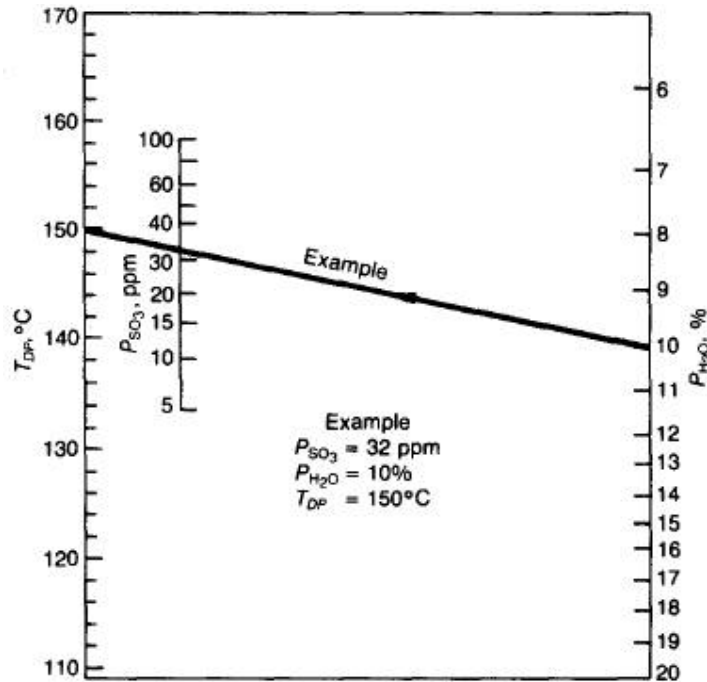


Şekil 11. Hava Fazlalık Katsayısı ve Yakıtta Göre Kükürdün  $SO_3$ 'e Dönüşüm Yüzdesi. [4]

### Yoğuşma Sıcaklığı Hesabına Bir Örnek

FO yakıtı için baca gazında hacimsel analiz şöyle kabul edilsin;  $H_2O$  : 10%,  $SO_2$  : 0,08% ve hava fazlalık katsayısı 10% ise sülfürik asit yoğuşma sıcaklığını belirleyelim.

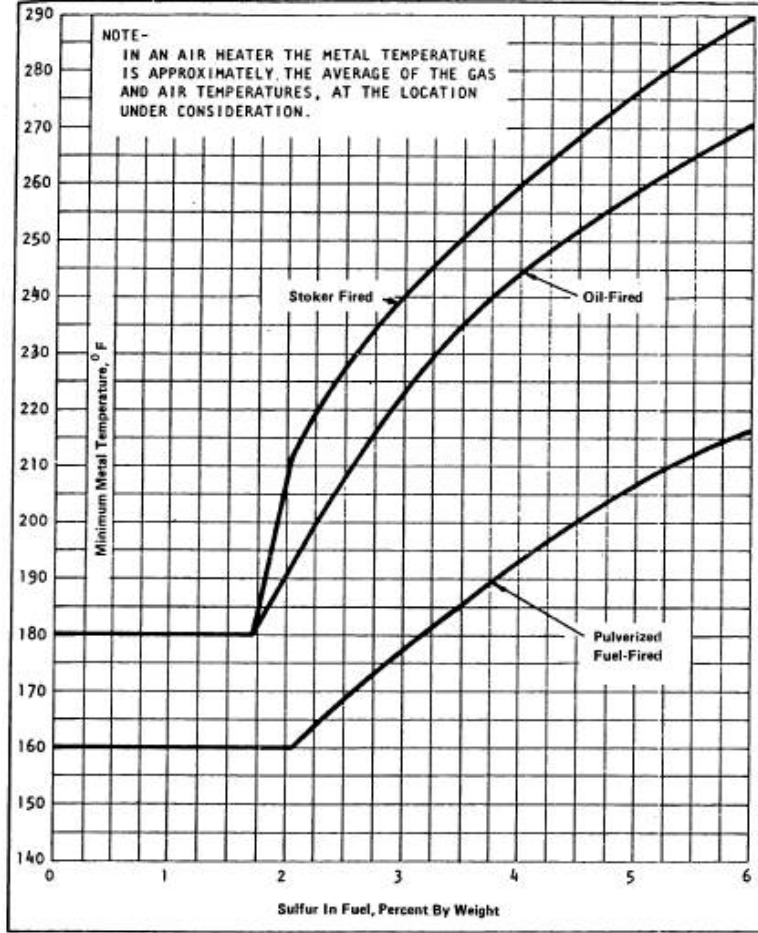
10% hava fazlalığı ve FO yakıtı için kükürdün yaklaşık %4'ünün  $SO_3$  formuna dönüşeceği görülmektedir. Buna göre son durumdaki  $SO_3$  bileşimi  $10^{-2} \times 0,08 \times 0,04 = 32 \times 10^{-6} = 32$  ppmv olarak belirlenir. Bu durumda aşağıdaki tablodan yoğuşmanın  $150^\circ C$  sıcaklıkta başlayacağı görülebilir. [5]



Şekil 12.  $SO_3$  ve  $H_2O$  Bileşimlerine Göre Duman Gazı Yoğuşma Sıcaklıkları. [5]



FO ve kömür için olması gereken minimum dizayn metal sıcaklıkları Şekil 13'ten alınabilir. Buna göre kaba bir yaklaşımla, 100 °C besi suyu girişi için kömürün kükürt oranının %2'yi FO'ın ise %2,5 i geçmemesi gerekir. Eğer geçiyorsa tedbir alınmalıdır. [6]



Şekil 13. Yakıttaki Kükürt Yüzdesine Göre Olması Gereken Boru Metal Sıcaklıkları. [6]

### Korozyon Belirtileri ve Önleme Yöntemleri

Düşük sıcaklık korozyonuna uğrayan metal yüzeyler zaman içinde aşınırlar. Bazı durumlarda aşınma yüzey boyunca orantılı olabilmektedir. Bu gibi durumlarda ultrasonik yöntemlerle belirli periyotlarda kalınlık ölçümleri yapmak gerekebilir. Bazı durumlarda da Şekil 14'te görüldüğü gibi pasa benzeyen bir görünüm ve pürüzlü yüzeyler oluşabilmektedir. [7]



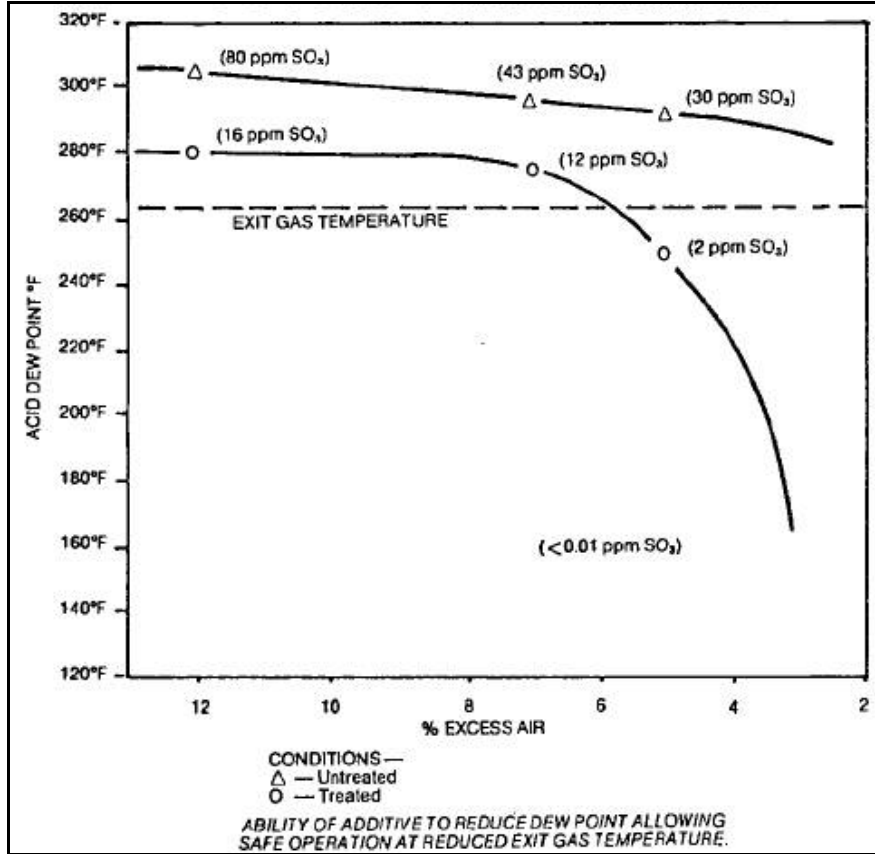
Şekil 14. Sülfürik Asit Korozyonuna Uğrayan Boru Örnekleri [7]

Düşük sıcaklık korozyonunu önlemek veya azaltmak için başvurulabilecek yöntemler yanma süreciyle ilgili ve dizaynla ilgili yöntemler olarak ikiye ayrılabilir.

### Yakma Prosesi İle İlgili Yöntemler

Sülfürik asit korozyonunu azaltabilmek için yanmayı olabildiğince düşük hava fazlalık katsayısıyla gerçekleştirmek ve düşük kükürtlü yakıtlar kullanmak gerekir. Ayrıca fazla nemin yoğuşma etkisini azaltabilmek için düşük nemli yakıtlar kullanmak, duman gazı yollarına hava sızıntılarını önlemek ve kurum üfleme prosesini olabildiğince minimize etmek gerekir.

Yakıtta çeşitli eklentiler eklemek de ayrı bir çözüm sunabilmektedir. Bu eklentiler, özellikle büyük ölçekli FO yakan sistemlerde kullanılmaktadırlar. Bu gibi kimyasal eklentiler yakma sistemine, çevresel faktörlere ve kazan malzeme özelliklerine bağlıdır. Bu eklentilerle birlikte korozif gazların yoğuşma sıcaklıkları azaldığı için sistem verimi artar, partikül oluşumu azaldığı için kazan yüzeylerinde daha az birikme ve daha az çekiş kaybı olur, temizleme periyotları azalır. Genelde MgO, AlO, Mn veya karışımları bu eklentilerin en fazla kullanılanlarıdır. [4] Kimyasal eklentilerin sülfürik asitin yoğuşma sıcaklığına olan etkisi Şekil 15'te görülebilmektedir.

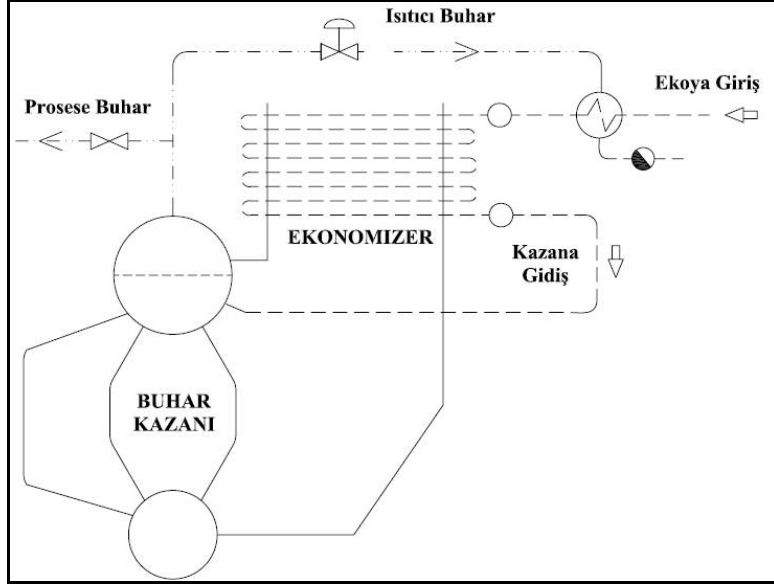


Şekil 15. Kimyasal Eklentilerin ve Hava Fazlalığının Asit Yoğuşma Sıcaklıklarına Olan Etkisi [4]

### Ekipman Dizaynıyla İlgili Yöntemler

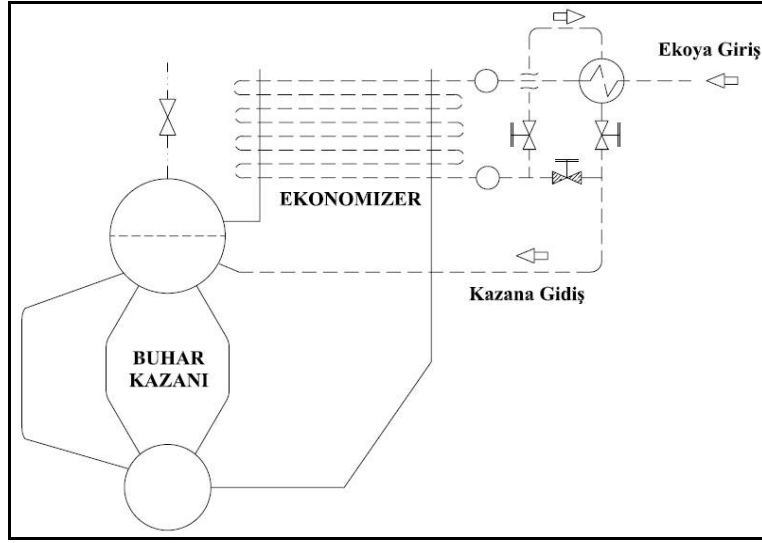
Piyasada yaygın olarak bilindiğinin aksine düşük sıcaklık korozyonu duman gazı çıkış sıcaklığından ziyade boru metal sıcaklığına bağlıdır. Gaz sıcaklığı çok yüksek bile olsa eğer boru metal sıcaklığı korozif gazın yoğuşma sıcaklığının altındaysa kısmen de olsa cidarda yoğuşma ve korozyon görülür. Gerekli formülasyonlarla hesaplamalar yapıldığında gaz tarafındaki 200 °C'lik bir sıcaklık artışının boru metal sıcaklığını sadece 4-5 °C artırdığı görülebilmektedir. [10] Dolayısıyla gaz çıkış sıcaklığını artırmak yerine boru içindeki su sıcaklığını artırmak daha akılcı bir yöntemdir. Bu nedenle yakıt veya yanmada yapılabilecek iyileştirmelerin yanında ekonomizelerin akış düzenlemelerinde de bir çok yöntem kullanılmaktadır. Sonuç olarak asıl varılmak istenen, en düşük boru metal sıcaklığının korozif gazın yoğuşma sıcaklığından yüksek olmasıdır. Bu yöntemlerin en büyük dezavantajı su tarafının ortalama sıcaklıkları yükseldiği için genelde ekonomizere ısıtma yüzeylerinin artmasıdır. Bu doğrultuda yapılabilecek birkaç düzenleme aşağıdaki şekillerde görülebilir.

**I)** Besi suyunu harici bir eşanjör ve ısıtıcı akışkan ile ön ısıtmaya tabi tutmak; örneğin bir eşanjör ve kazandan alınacak olan bir miktar buhar ile besi suyunu ön ısıtma uygulanabilir. Böylece suyun ekonomizere giriş sıcaklığı yani boru metal sıcaklığı yükseltilerek korozyon potansiyeli azaltılmış olur. Yüksek kükürtlü kömür ve FO yakan büyük kazanlarda uygulanmaktadır. (Şekil 16)



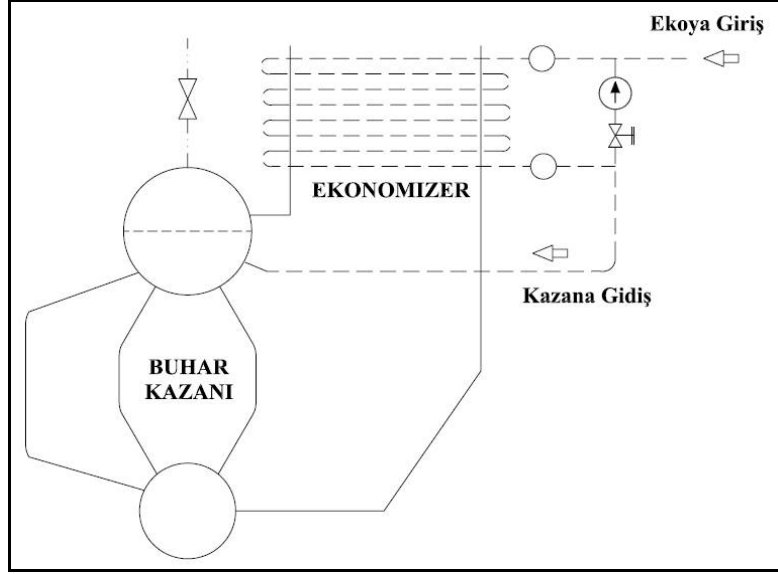
Şekil 16. Harici Bir Eşanjör ile Besi Suyunun Ön Isıtılması.

**II)** Ekonomizer çıkış suyuyla giriş suyunu ısıtmak; örneğin 90 °C sıcaklıkta ekonomizere giren besin suyu 140 °C sıcaklıktaki çıkış suyuyla bir eşanjörde ısıtılarak 100 - 110 °C sıcaklıkta ekonomizere verilebilir. (Şekil 17)



Şekil 17. Ekonomizer Çıkış Suyuyla Giriş Suyunun Isıtılması.

**III)** Çıkış suyuyla giriş suyunu karıştırarak giriş suyu sıcaklığını yükseltmek; yüksek sıcaklıktaki çıkış suyunun bir kısmı sirkülasyon pompası yardımıyla ekonomizerin girişine verilerek giriş suyu sıcaklığı yükseltilebilir. Ekonomizer içerisindeki ortalama su sıcaklığı artacağı için gerekli olan ısı yüzeyi de bir miktar artar. Dolayısıyla gaz tarafı ve su tarafı direnci artarken, işletme ve yatırım maliyeti bir miktar yükselecektir. Bunlara rağmen örneğin güç santrallerinde kondenserdan gelen düşük sıcaklıktaki kondensin ön ısıtılması gibi durumlarda yaygın olarak uygulanmaktadır. (Şekil 18)



Şekil 18. Ekonomizer Çıkış Suyunun Bir Kısımının Giriş Suyuyla Karıştırılması.

**IV)** Tüm bunlara ilave olarak degazör basıncının artırılması, besi suyu sıcaklığını arttıracak için düşük sıcaklık korozyonu riskini azaltan ayrı bir yöntemdir. Özellikle büyük endüstriyel kazanlarda uygulanan bir yöntemdir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji geri kazanımı günümüzde artık yasalarla zorunlu hale getirilmekte ve kaçınılmaz bir noktadadır. Yasaların yanı sıra enerjiyi verimli kullanmak isteyen işletmeler için çeşitli teşvik yardımları da söz konusudur. Temel amaç ise sınırlı miktarda olan ve çoğu ihraç edilen fosil yakıtların kullanımını olabildiğince azaltmak, dışa bağımlılığı asgariye indirmek, atmosfere kirletici ve sera etkisi yaratan gazların salınımını düşürmektir. Ülkemizde fosil yakıtların çoğunun ısı ve enerji kazanları tarafından tüketildiğini düşünürsek ekonomizer kullanımının önemi daha da belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Basit bir örnek vermek gerekirse; 6 ton/h buhar kullanımı olan bir işletme, ekonomizersiz olarak aylık 16 saat ve 26 gün çalışma durumu için ortalama 100.000 TL civarında doğalgaz faturası ödemektedir. Ekonomizer kullanımıyla sağlanacak %5'lik tasarruf aylık ortalama 5.000 TL'lik bir kazanç anlamına gelir. Senelik ise 50.000 - 60.000 TL civarında bir tasarruf sağlanmış olur. Böyle bir ekonomizerin yatırım maliyeti göz önüne alındığında kendi kendini 6 ay ile 1 sene arasında amorti edeceği söylenebilir. Bununla birlikte, yakıt sarfiyatı %5 azalacağı için atmosfere salınan kirleticiler ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ) ve sera gazları da ( $\text{CO}_2$ ) aynı oranda azalır. Örneğin baca gazında kütleli olarak %13  $\text{CO}_2$  olduğunu kabul edersek, 16 saat ve 26 gün çalışma durumuna göre gerekli hesaplamalar yapıldığında ekonomizer kullanımıyla aylık 20 ton civarında daha az  $\text{CO}_2$  salınımı yapıldığı söylenebilir. Azot oksit ve varsa kükürt oksitler için de aynı mantık yürütülebilir. Ülkemizde yaklaşık 6000 civarında buhar kullanan işletme bulunduğu göz önüne alınırsa, sadece buhar kazanlarında bile ne kadar parasal tasarruf ve kirletici emisyon azalımı yapılabileceği görülebilir.

Ekonomizer yatırımı yaparken önemli olan nokta, yakıt ve kullanım sıcaklıklarına göre düzgün bir sistem dizaynı yapmaktır. Bilinçsiz yapılan bir dizaynda problemler oluşabilir, bu da işletmede duruşlara neden olur. Bu durum da tasarruf edelim derken işletmenin zarar etmesine yol açar. Yukarıda belirtilen noktalara dikkat edilerek gerçekleştirilecek olan bir dizaynda, özellikle korozyona dayalı problemler asgariye indirilebilir. Tesiste ekonomizerden kaynaklı duruşların minimize edilmesi yanında, sonuç olarak tasarruf ile rekabet gücü ve düşük emisyon ile de çevreye saygı pekiştirilmiş olur.

## KAYNAKÇA

1. Mobley, R. K., Plant Engineer's Handbook, 1991, USA
2. Stultz, S. C., Kito J. B., STEAM, Its Generation and Use, 40th. Edition, 1992, Ohio
3. Huijbregts, W. M. M., Leferink, R., 2004, Latest Advances in The Understanding of Acid Dewpoint Corrosion: Corrosion and Stress Corrosion Cracking in Combustion Gas Condensates, Anti-Corrosion Methods and Materials, Sayı 51, p. 173-188
4. Bennett R. P., Chemical Reduction of Sulphur Trioxide and Particulates From Heavy Oils, Apollo Chemical Corporation, p.35-42, Newjersey
5. Ganapathy, V., Cold End Corrosion: Causes and Cures, Hydrocarbon Prossesing-January 89, p.57-59
6. H. D. of the Army, Central Boiler Plants, 1989, USA
7. Port, R.D., Herro H. M., 1991, The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis, Mc Graw Hill, New York
8. Barreras, F., Barroso, J., 2004, Behavior of a High-capacity Steam Boiler Using Heavy Fuel Oil Part II: Cold-end Corrosion, Fuel Processing Technology, Sayı 86, p. 107-121
9. Kutty, P. C. M., Dalvi, A., 1995, Evaluation of Chemical Fuel Additives to Control Corrosion and Emmisions in Dual Purpose Desal/Power Plants IDA conference, Abu Dhabi
10. Ganapathy, V., Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Boilers, 2003, Basel