

## FARKLI ISIL GÜÇLERDEKİ KAZANLARDA YANMA VE EMİSYON DAVRANIŞININ ARAŞTIRILMASI

Mustafa İLBAŞ<sup>1</sup> İlker YILMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doç.Dr., Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mak. Müh. Bölümü, 38039-Kayseri

<sup>2</sup>Mak.Yük. Müh., Erciyes Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, 38039-Kayseri

**Özet:** Bu makalede; hava fazlalık katsayısının yanma verimi ve emisyonlara etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İki farklı yakıt, üç farklı sıvı yakıt kazanında yakılmış ve duman kanalından değişik radyal uzaklıklarda kazan yanma verimleri ve emisyon davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar ile çok sayıda deneysel veriler elde edilmiştir. Hava fazlalık değeri arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonunun genellikle azaldığı, SO<sub>2</sub> emisyonunun fazla değişmediği görülmüştür. Hava fazlalık değeri arttıkça CO emisyonunun ve ısı veriminin azaldığı görülmüştür. Ayrıca SO<sub>2</sub> emisyonunun yakıttaki kükürt miktarına bağlı olarak değiştiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Yanma, Hava Fazlalık Katsayısı, Emisyon, Kazan.

## INVESTIGATIONS OF COMBUSTION AND EMISSION BEHAVIOUR OF THE BOILERS WITH DIFFERENT POWER

**Abstract:** The aim of study is to determine the effect of excess-air level on combustion efficiency and emissions. Two different fuel are burned in three various liquid fuel boiler. Combustion performance and emission behaviours are experimentally investigated at different radial distance from boiler-flue connection section. Wide range of experimental results have been obtained from this study. It is shown that NO<sub>x</sub> emission is generally decreased when excess-air level is increased. It is also shown that CO emission and thermal efficiency are decreased when excess-air level is increased. The increased of SO<sub>2</sub> emission is found to depend on the amount of sulfur in the fuel.

**Key words:** Combustion, Excess-air level, Emission, Boiler.

### 1. Giriş

Günümüzde, her geçen gün artan çevre sorunlarının başında gelen hava kirliliği, geleceğin dünyasını ciddi bir şekilde tehdit etmekte, ekolojik tehlikelerle karşı karşıya bırakmaktadır. Dünya nüfusunun hızla artmasına paralel olarak, artan enerji kullanımı, endüstrinin gelişimi ve şehirleşmeyle ortaya çıkan hava kirliliği insan sağlığı ve diğer canlılar üzerinde olumsuz etkiler yapmaktadır[5,12].

Yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonlar ve yakma tesislerinde katı, sıvı ve gaz yakıtların yakılarak yakıt bünyesindeki kirleticilerin tesis bacasından atmosfere atılması hava kirliliğine neden olmaktadır. Buradaki kirlilik doğrudan yakıtın cinsine ve miktarına bağlıdır. Ülkemizde kullanılan toplam enerjinin yaklaşık % 36'sı konut sektöründe binaların ısıtılmasında, % 28'i sanayide, %10'u aydınlatmada, %17'si ulaşımda, %4'ü tarımda, %5'i enerji dışı sektörlerde kullanılmaktadır[1].

Yanma, yakıtların genellikle havadan sağlanan oksijen ile hızlı oksidasyonu sonucu ısı ve sıcak yanma ürünlerinin açığa çıktığı kimyasal reaksiyondur. Normal şartlarda ve yeterli yakıcı oksijen ortamında yakıtlar çoğunlukla CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüşür[12]. Ayrıca az miktarda kükürt, azot ve diğer elementlerin oksitleri oluşur. Yanma, kimyasal tepkime gereği gaz fazında yanıcı ve yakıcı elemanlar arasında oluşur. Bu sebeple en kolay yanma gaz yakıtlarda, en zor yanmada katı yakıtlarda gerçekleşir. Yanmanın; türbülans (karışım oluşturma süreci), sıcaklık (tutuşma

süreci) ve zaman (yanmanın tamamlanması süreci) olarak bilinen üç temel şartının sağlanması gerekir. Bunların sağlanması için, yakıt ve havanın olabildiğince içiçe karıştırılarak yanıcı karışımın oluşturulması, yanıcı karışım sıcaklığının tutuşturma sıcaklığı üzerine çıkartılarak yanma tepkimesinin başlatılması, yanma tamamlanmaya kadar yanıcı karışımın sıcaklığı, tutuşma sıcaklığı üzerinde olan yanma odasında kalmasını sağlanması gerekir. Bu üç süreç eş zamanlı, karşılıklı etkileşim içinde ve çok karmaşık oluşum mekanizmalarıyla gerçekleşmektedir[3,8,12].

Yanma esnasında kullanılan gerçek hava miktarının yakıtın yanması için gerekli stokiometrik (teorik) hava miktarına olan oranı hava fazlalık katsayısı olarak tanımlanır. Yanmayı tam sağlamak için yanma odasına gönderilen gerçek hava miktarı daima teorik hava miktarından bir miktar fazladır[1,12]. Bir işletmede yanmanın tam olup-olmadığı, o işletmenin ekonomikliği hususunda önemli rol oynar. Doğal olarak kötü bir yanma için kayıplar artacak ve ısı ekonomisi çok düşecektir. Yanmanın eksik veya tam olduğuna yanmış gazların miktarına bakılarak karar verilir. Yanma çalışmalarında, kazanlar için en önemli işletme parametresi hava fazlalık katsayısıdır. Stokiometrik oksijen ve buna karşılık olan stokiometrik hava, yakıtı yakmak için gerekli teorik miktarlardır. Pratikte genellikle bu miktardan daha fazla hava verilmesi gerekir. 1kg yakıtı yakmak için gerekli havanın kütlesi, teorik (stokiometrik) hava-yakıt oranı olarak ifade edilir[6,7,12].

$$\text{Teorik Hava-Yakıt Oranı} = \frac{1 \text{ kg yakıtı yakmak için gerekli havanın kütlesi, kg}}{1 \text{ kg yakıt}} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{\text{Gerçek hava yakıt oranı}}{\text{Teorik hava yakıt oranı}} \quad (2)$$

Kazanlarda yanma ve emisyon davranışının deneysel olarak incelenebilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi için Tablo 1’de verilen kazan işletme parametreleri ile emisyon parametrelerin belirlenmesi gerekir.

**Tablo 1.** Kazan İşletme ve Emisyon Parametreleri[1].

Kazan İşletme Parametreleri	Emisyon Parametreleri
Hava Fazlalık Katsayısı	CO Emisyonu
Yakıt Özellikleri	NO <sub>x</sub> Emisyonu
Baca Gazı Sıcaklığı	SO <sub>2</sub> Emisyonu
Yanma Gazlarının CO <sub>2</sub> Konsantrasyonu	Partikül Maddeler
Yanma Gazlarının O <sub>2</sub> Konsantrasyonu	Yanmamış Hidrokarbonlar (İs, Duman vb.)
	Kurşun Klor ve Diğer Maddeler

Emisyonların referans O<sub>2</sub> konsantrasyonunda ve normal şartlarda 1 normal metreküp baca gazındaki kütleli olarak ölçülen konsantrasyonları kazanın emisyon davranışını belirler ve değerlendirmede bu birim kullanılır. Kazanlar için referans O<sub>2</sub> konsantrasyonu % 3-5 alınır[1].

## 2. Yanma ve Emisyon Davranışı

### 2.1 Tam Yanma Hali

Bir yakıtın tam yanması; yanıcı olmayan madde miktarı,  $a = 0$  ve hava fazlalık katsayısı,  $\lambda > 1$  olduğu zaman gerçekleşir[12]. Tam yanma sonucu yakıt bileşimindeki karbon tamamen karbondioksit olarak ortaya çıkar. Yanma sonucunda karbon monoksit meydana geliyorsa, yanmanın eksik olarak gerçekleştiği anlaşılır. Tam yanma halinde yanma gazları içindeki  $CO_2$  ve  $O_2$  arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi doğru orantıdır[1].

$$CO_2 + \frac{100}{21} CO_{2max} \times O_2 - CO_{2max} = 0 \quad (3)$$

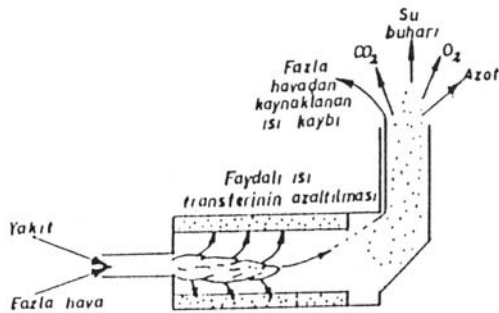
#### 2.1.1 Teorik Yanma Hali

Teorik yanma durumunda, yanıcı olmayan madde miktarı;  $0 < a < 1$  ve hava fazlalık katsayısı  $\lambda = 1$  hali geçerlidir. Teorik yanma halinde de  $CO_2$  ve  $O_2$  oranı arasındaki ilişki bir doğrusal durum gösterir[12].

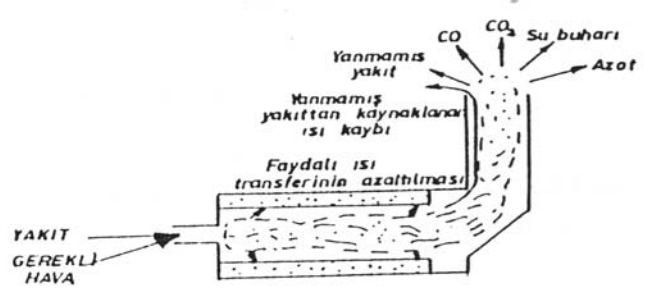
$$CO_{2max} - CO_2 - CO_{2max} \times O_2 - 2O_2 = 0 \quad (4)$$

#### 2.1.2 Fazla veya Eksik Hava ile Yanma

Pratikte stokiometrik hava ile tam yanma hiçbir zaman gerçekleşmez[12]. Nasıl karıştırılmış olursa olsun, oksijenin bir kısmı yanma reaksiyonuna girmeden baca gazından dışarı çıkar. Bu nedenle pratikte genellikle stokiometrik havadan daha fazla hava verilmesi yoluna gidilir[2]. Fazla hava ile yapılan yanmalarda baca gazında daima oksijen bulunur. Diğer taraftan baca gazındaki azot yüzdesi de artar. Fazla hava ile yapılan yanma ve ürünler Şekil 1’de görülmektedir. Bir yanma olayının fazla veya eksik hava miktarları, baca gazındaki  $CO_2$ ,  $CO$  ve  $O_2$  yüzdeleri ile kontrol edilebilir[2]. Baca gazı bileşimi yakıtın cinsine ve hava-yakıt oranına bağlıdır. Eğer yakıtın bileşiminde hidrojen varsa, baca gazında subuharı da bulunur. Eksik hava ile yanma ve ürünleri Şekil 2’de görülmektedir[12].

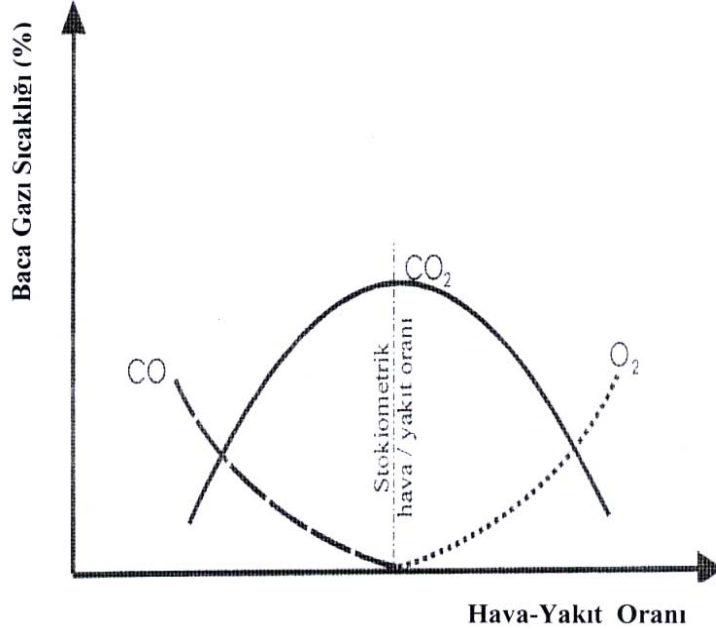


Şekil 1. Fazla hava ile yapılan yanma ve ürünleri.



Şekil 2. Eksik Hava ile yapılan Yanma ve Ürünleri

Hava-yakıt oranı stokiometrik oranda veya bu orandan az tutulursa, pratik olarak karbonun tam yanması mümkün olmaz. Bu durumda baca gazında karbon monoksit kalmaz, ancak fazla havadan ileri gelen oksijen bulunur. Baca gazının bileşimi ile hava-yakıt oranı arasındaki bağıntı Şekil 3’de görülmektedir[12].



Şekil 3. Baca Gazı Sıcaklığı Hava-Yakıt Oranına İlişkisi.

Yanma işlemleri sırasında bacadan çevreye yayılan hava kirletici emisyonlar; partikül (toz, is, kurum, uçucu kok vb.) emisyonları ve gaz ( $SO_2$ ,  $NO_x$ , CO vb.) emisyonları olmak üzere iki gruba ayrılır. Hava kirliliği yönünden etken emisyonlar duman (partikül) ve kükürt oksitlerdir ( $SO_2$ ,  $SO_3$ ). Atmosferi kirletici bu emisyonların önlenmesinde değişik yöntemler uygulanabilir. Bunlar yanma sonrası (kuru ve yaş) baca gazı temizleme işlemleri olarak sınıflandırılabilir[1,2,12].

### 2.1.3 CO Emisyonu

Baca gazında görülebilecek tam yanmamış gazlardan en önemlisi karbonmonoksittir. CO emisyonu, karbonun kısmi oksidasyonu sonucunda oluşur. Yakma sistemlerinin çıkışına konulan siklonlarda, gazın içinde varolabilecek yanmamış karbon tanecikleri gazdan ayrıldığında CO oluşum ihtimali kalkar ve merkezi girdap içinde CO genellikle hava fazlasından kalan  $O_2$  ile yanıp  $CO_2$ 'ye dönüşme şansına sahip olur. Böylece normal işletme şartlarında baca gazlarında CO miktarı genellikle azdır. Ancak nemli, düşük kaliteli ve yavaş yanan yakıt, düşük sıcaklıklarda yanma işlemleri CO emisyonunun artmasına neden olur. Ayrıca  $NO_x$  emisyonunun kontrolü için yapılan kademeli yanma, CO konsantrasyonunu artırabilir[12].

### 2.1.4 $SO_2$ Emisyonu

Kükürtoksitler ( $SO_x$ ) insan sağlığını ve çevreyi önemli ölçüde tehdit eden kirleticilerdir. Kükürtoksitler içerisinde en önemli payı ise; kükürtdioksit ( $SO_2$ ) oluşturmaktadır. Bu gaz yanmayan renksiz bir gaz olup, 0.3-1 $\mu$ m derişimlerde ağızda karakteristik bir tat bırakmakta, 3 ppm (milyonda bir hacim)'in üstünde ise; boğucu bir his vermektedir. Fuel-oil'in içerdiği kükürtün yanmasıyla önce  $SO_2$  oluşmakta ve sonradan bunun bir kısmı yanmadaki hava fazlalığına bağlı olarak  $SO_3$ 'e dönüşmektedir[4,12].

### 2.1.5 $NO_x$ Emisyonu

Hava kirleticilerden azotoksitlerde insan ve çevre sağlığı açısından en az  $SO_2$  kadar önemli bir kirleticilerdir.  $NO_x$

emisyollarının % 90-95'i yakma sistemlerinden kaynaklanmakta, daha çok NO ve NO<sub>2</sub> (birlikte NO<sub>x</sub> olarak adlandırılır) şeklinde gerçekleştiği ve bunlardan NO'nun daha fazla meydana geldiği belirlenmiştir. Yanma sonucu oluşan NO<sub>x</sub> emisyonu genel olarak iki kaynaktan olmaktadır. Bunlardan birincisi yüksek sıcaklıklarda yanma havasının N<sub>2</sub>'in oksitlenmesiyle oluşan ısıl- NO<sub>x</sub> (termal NO<sub>x</sub>), diğeri ise yakıtın içindeki azottan oluşan yakıt kaynaklı yakıt-NO<sub>x</sub> (fuel NO<sub>x</sub>)'dur. Azotoksit (NO<sub>x</sub>) azaltılma reaksiyon mekanizması bilinmemekte, fakat iki tip reaksiyonla olabileceği tahmin edilmektedir[2,5,11,12].

### 2.1.6 Partikül Emisyonu

Partikül emisyonları, yanıcı partiküller (uçucu kok, is, kurum vb.) ve yanıcı olmayanlar (toz) diye iki gruba ayrılırlar. Yanıcı partiküller uygun yakıt hazırlama ve yanma odasında uygun yanma koşulları oluşturulması ile en aza indirgenebilir. Toz emisyonları belli ölçüde azaltılabilir. Yakma sistemlerinde toz emisyonların kontrolü ile ilgili teknolojiler genelde gelişmesini tamamlamış ve günümüzde yüksek bir standarda ulaşmıştır. Tozların artırılmasında; yerçekimi kuvveti, merkezkaç kuvveti (Siklonlar), partiküllerin elektrikle yüklenme özellikleri (elektro-filtreler), filtreleme etkilerinden (torba ve yaş filtreler) yararlanılmaktadır[10,11,12].

## 3. Deneysel Çalışma

### 3.1 . Deneysel Metot

Deneyde iki farklı türde sıvı yakıt kullanılmıştır. Bunlar 4 ve 6 numara fuel-oil'dir. Kullanılan yakıtların analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan baca gazı emisyon ölçüm cihazı; dijital göstergeli bir ekrana sahip 220 V., 50 Hz. AC. gerilimle çalışan (aynı zamanda şarj edilebilen), farklı emisyonları tespit etmek için emisyon sensörlerine ile istenilen durumlarda is ve gaz hortumlarının cihaza bağlanabileceği kablo ve yazıcı ünitesinden oluşan bir cihazdır. Deneysel ölçümlere başlamadan önce cihaz kendini kalibre edebilmesi için 5 dakika kadar çalıştırılması gerekir. Dijital ekrandan, yakma sisteminde kullanılan yakıt türü seçilir, deneylerde sıvı yakıtlar kullanıldığından (heavy-fuel) modu aşağı-yukarı hareket eden yön tuşu ile belirlenir. Daha sonra ölçüm sensörlerinin bulunduğu uç (prop) ölçüm yapılacak olan noktaya yerleştirilir. Bundan sonra dijital ekranda, cihazla tespit edilen parametreler görülür[1,12].

Tablo 2. Kullanılan Yakıt Bileşimleri[12]

Element	Yakıt Cinsi	
	4 numara fuel-oil	6 numara fuel-oil
C (%)	86.10	85.92
S (%)	1.450	1.460
H (%)	11.56	11.70
O (%) ve N (%)	0.890	0.920
Alt Isıl Değer (cal/gr)	10450	10584

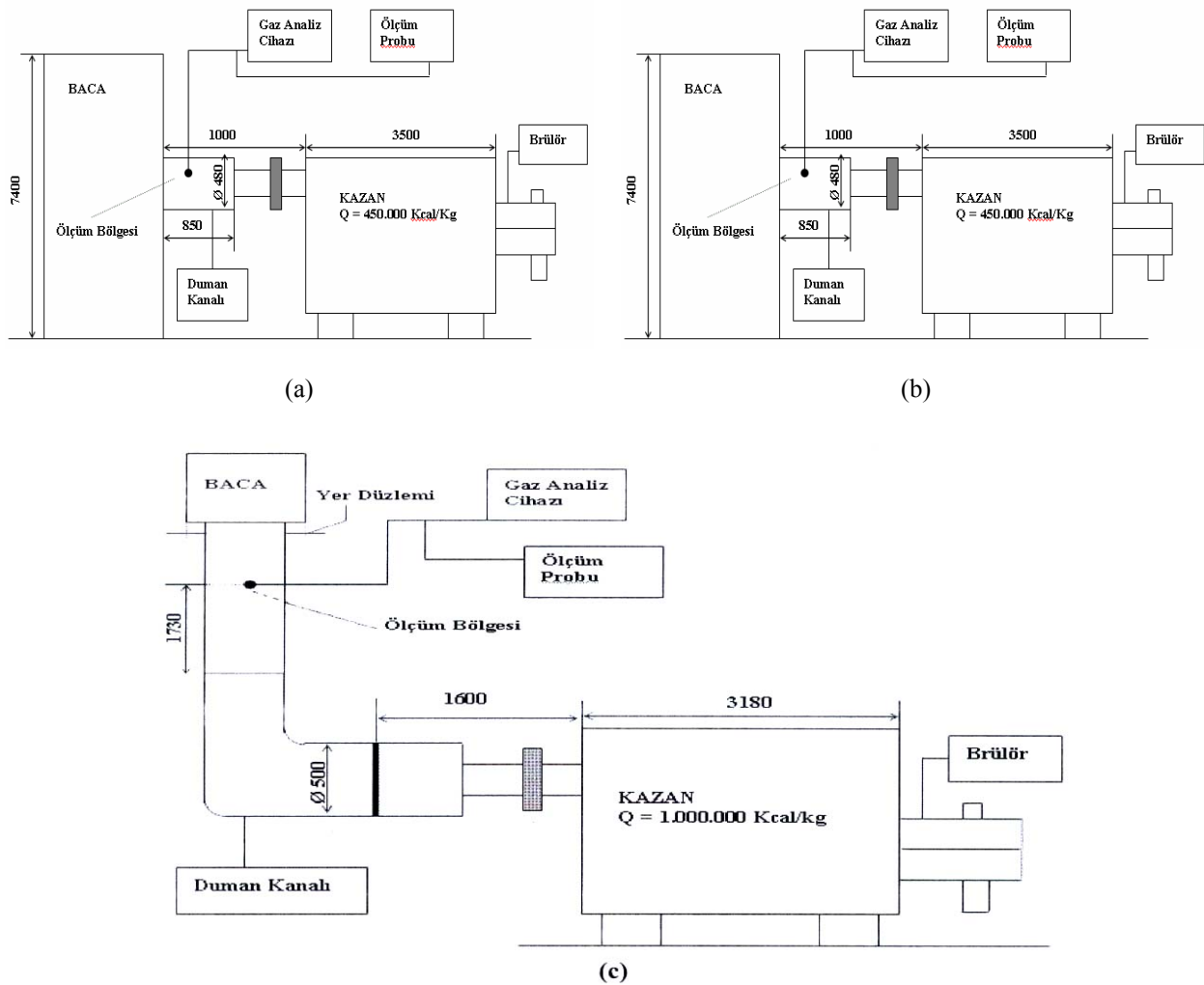
Deneysel ölçümlere başlamadan önce kazan 30-45 dakika kadar çalıştırılarak kararlı yanma rejimine ulaşması sağlanır. Sistem üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan brülörün üzerindeki hava-yakıt ayar klapesi değeri, ölçüm bağlantı ucu (prop) baca bağlantı parçasının merkezine getirilerek hava fazlalık katsayısı değeri ölçüm cihazı ekranından tespit edilir.

Daha sonra ölçüm yapılacak 4 farklı hava fazlalık değerlerinin ayarlanmasında brülör üzerindeki hava-yakıt ayar klapesinden ayarlanarak istenilen değere gelip-gelmediği ölçüm cihazı yardımıyla belirlenir. Hava fazlalık katsayıları;  $\lambda = 1.30, \lambda = 1.69, \lambda = 1.82, \lambda = 2.12$  için sistemin ısı performans ve emisyon değerleri belirlenir. Her Her hava fazlalık değeri için, duman kanalı merkez noktası belirlenerek, duman kanalı merkezinden 50 mm. radyal aralıklarla duman kanalı duvarına kadar sistemin ısı performans ve emisyon değerleri belirlenir.

Ölçüm ucunun (prop) bir önceki ölçümden elde ettiği verilerin sıfırlaması için ölçümler arasında birkaç dakika beklenilmesi gerekir. Aynı yanma şartlarında veriler alabilmek için, kazan sıcaklığı değerinin aynı olması sağlanmalıdır. Kazan çalışması durduktan sonra bir sonraki ölçümü yapabilmek için kazan sıcaklığının işletme sıcaklığına gelmesi beklenir[6,1].

### 3.2 . Deney Düzenekleri

Deney sistemlerinin görünüşü Şekil 1-a, b ve c'de verilmektedir[12].



Şekil 4. Deney sistemlerinin görünüşü

### 4. Deneysel Sonuçlar

Hava fazlalık katsayısının CO emisyonu üzerindeki etkisi; ısı kapasitesi 1.000.00 kcal/kg olan kazanda CO

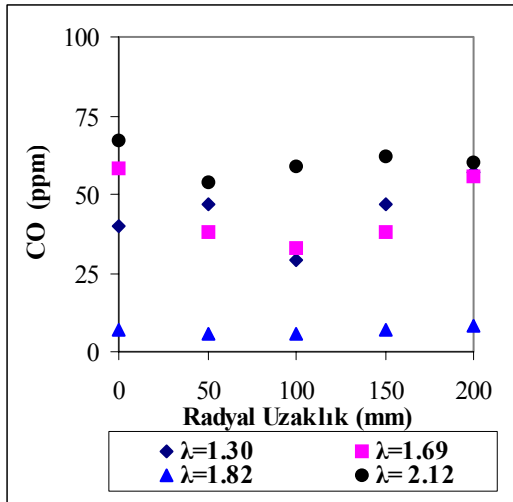
emisyonu duman kanalı merkezinde hava fazlalık katsayısı  $\lambda=1.30$  için; 40 ppm iken;  $\lambda=1.82$  için; 7 ppm'e düştüğü, ısıl gücü 320.000 kcal/kg olan kazanda CO emisyonu duman kanalı merkezinde hava fazlalık katsayısı  $\lambda=1.30$  için; 93 ppm iken;  $\lambda=1.69$  olduğunda 78 ppm'e düştüğü Şekil 5 ve Şekil 6'da görülmektedir. Bu verilerden hava fazlalık katsayısı arttıkça CO emisyonunun genellikle azaldığı görülmektedir.

Hava fazlalık katsayısının  $\text{SO}_2$  emisyonunu fazla etkilemediği görülmektedir. Isıl kapasitesi 1.000.00 kcal/kg olan kazanda  $\text{SO}_2$  emisyonu duman kanalı merkezinde hava fazlalık katsayısı  $\lambda=1.30$  için; 366 ppm,  $\lambda=1.69$  için; 397 ppm,  $\lambda=1.82$  için; 293 ppm ve  $\lambda=2.12$  için; 305 ppm olduğu, ısıl kapasitesi 450.000 kcal/kg olan kazanda  $\text{SO}_2$  emisyonu duman kanalı merkezinde hava fazlalık katsayısı  $\lambda=1.30$  için; 39 ppm iken;  $\lambda=1.69$  için 353 ppm,  $\lambda=1.82$  için 352 ppm,  $\lambda=2.12$  için 353 ppm olduğu Şekil 7 ve Şekil 8'de görülmektedir. Bu verilerden  $\text{SO}_2$  emisyonunun hava fazlalık katsayısına bağlı olarak fazla değişmediği görülmektedir.

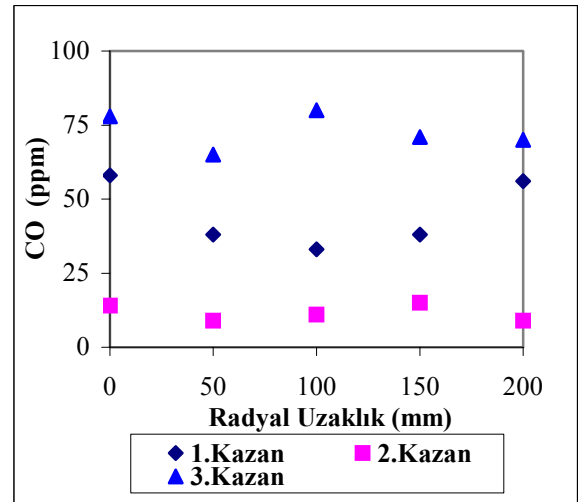
Hava fazlalık katsayısının  $\text{NO}_x$  emisyonu üzerindeki etkisi; ısıl kapasitesi 320.000 kcal/kg olan kazanda  $\text{NO}_x$  emisyonu duman kanalı merkezinde hava fazlalık katsayısı  $\lambda=1.30$  için; 148 ppm iken,  $\lambda=1.82$  için 141 ppm ve  $\lambda=2.12$  olduğunda 125 ppm'e düştüğü, ısıl kapasitesi 1.000.000 kcal/kg olan kazanda  $\text{NO}_x$  emisyonu duman kanalı merkezinde  $\lambda=1.30$  için; 171 ppm iken;  $\lambda=1.69$  olduğunda 152 ppm,  $\lambda=2.12$  olduğunda 132 ppm'e düştüğü Şekil 9 ve Şekil 11'de, baca gazı sıcaklıklarının değişimleri ise; Şekil 10 ve Şekil 12'de görülmektedir. Hava fazlalık katsayısı arttıkça baca gazı sıcaklığının azaldığı ve dolayısıyla  $\text{NO}_x$  emisyonunun azaldığı görülmektedir.

Hava fazlalık katsayısı ile ısıl verimin değişimi Şekil 13 ve Şekil 14'de görülmektedir. Isıl kapasitesi 1.000.000 kcal/h'lik kazanda ısıl verim duman kanalı merkezinde  $\lambda=1.30$  için;  $\eta=93.1$  iken;  $\lambda=1.69$  için  $\eta=90.5$  ve  $\lambda=2.12$  için  $\eta=87$  olduğu tespit edilmiştir. Isıl kapasitesi 320.000 kcal/h'lik kazanda ısıl verim duman kanalı merkezinde  $\lambda=1.30$  için;  $\eta=89.6$ ,  $\lambda=1.69$  için  $\eta=88.2$ ,  $\lambda=1.82$  için  $\eta=84.4$  ve  $\lambda=2.12$  için  $\eta=82.7$  olduğu tespit edilmiştir.

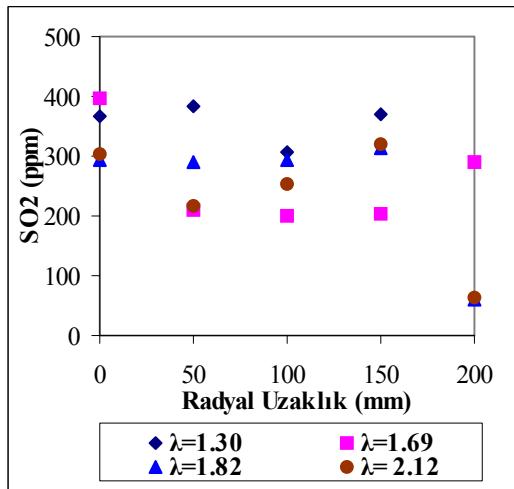
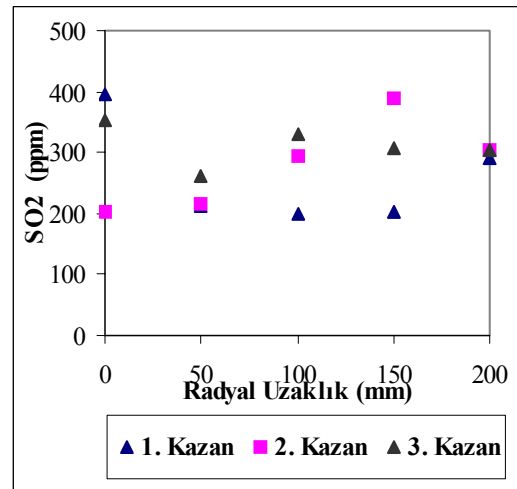
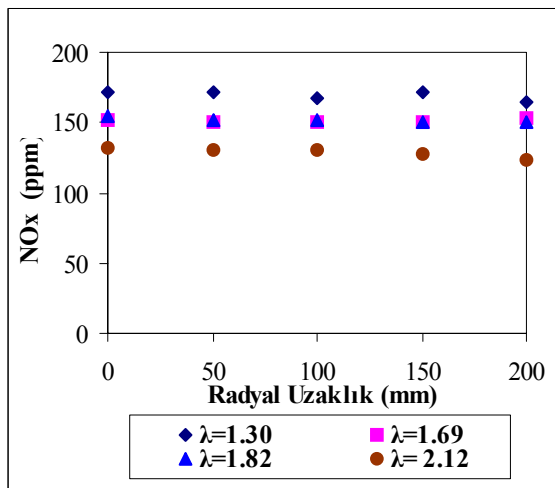
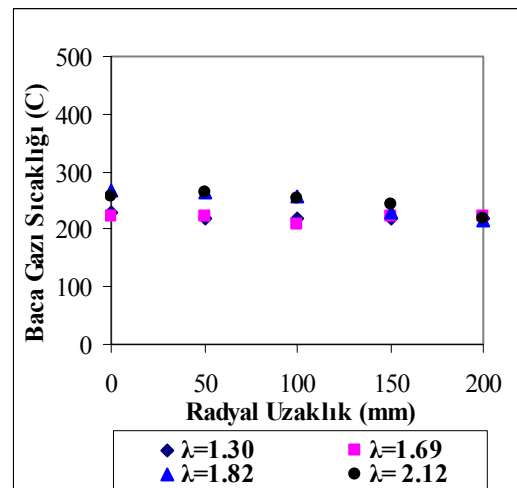
Bu verilerden hava fazlalık katsayısı arttıkça ısıl verimin azaldığı görülmektedir. Isıl verimin beklenildiği gibi kullanılan yakıtın ısıl değerine bağlı olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçların, benzer çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür[4,5,6,7,11,12].



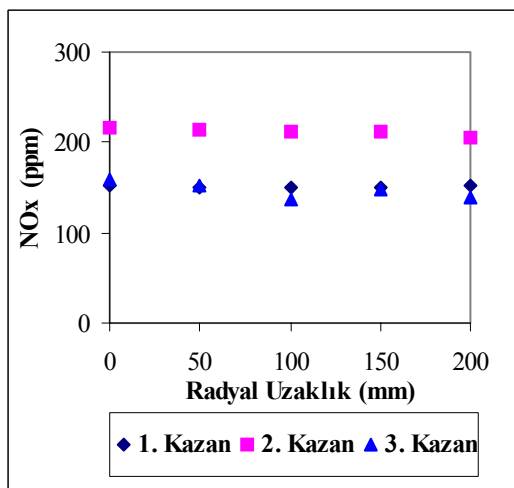
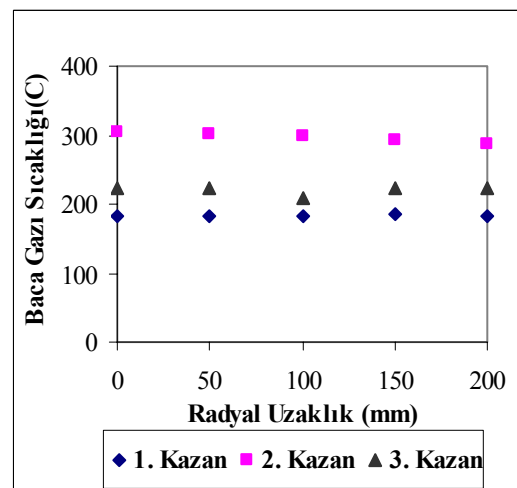
Şekil 5. HFK'nın CO Emisyonuna Etkisi



Şekil 6. Farklı Kazanlarda CO Emisyonu.

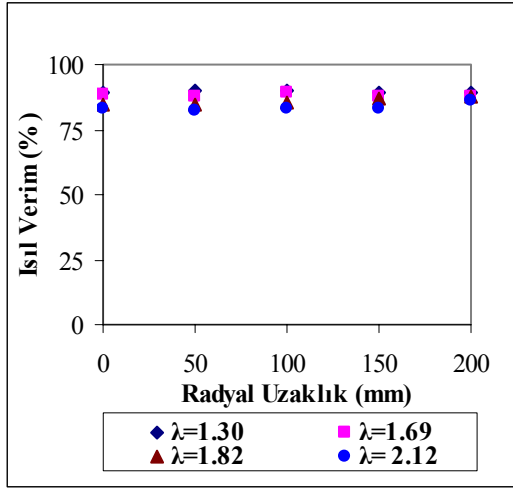
Şekil 7. HFK'nın SO<sub>2</sub> Emisyonuna Etkisi.Şekil 8. Farklı Kazanlarda SO<sub>2</sub> Emisyonu.Şekil 9. HFK'nın NO<sub>x</sub> Emisyonuna Etkisi.

Şekil 10. HFK'nın Baca Gazı Sıcaklığına Etkisi.

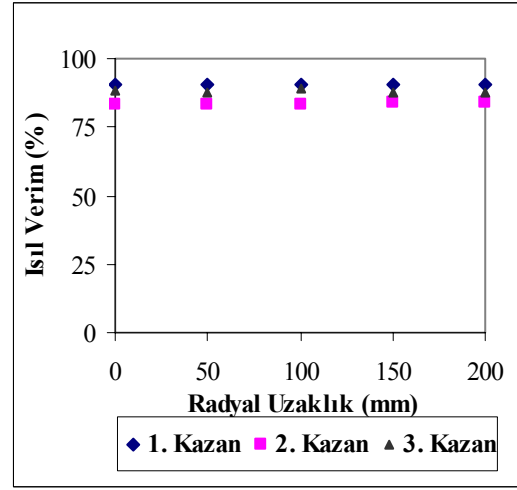
Şekil 11. HFK'nın NO<sub>x</sub> Emisyonuna Etkisi

Şekil 12. Farklı Kazanlarda Baca Gazı Sıcaklığı.





Şekil 13. HFK'nın Isıl Verime Etkisi



Şekil 14. Farklı Kazanlarda Isıl Verim

## 5. İrdeleme

Yapılan deneysel çalışmada; üç farklı kazanda, iki farklı yakıt kullanılarak, dört farklı hava fazlalık değeri için kazanlardaki yanma ve emisyon davranışları deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalardan, kazanlar için en önemli işletme parametresi olan hava fazlalık katsayısı ile yanma verimi ve emisyon dağılımının değişimleri tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalardan, ısı veriminin hava fazlalık katsayısı ile değişmekle birlikte; kullanılan yakıtın ısı değerine bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. CO emisyonunun hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. SO<sub>2</sub> emisyonunun hava fazlalık katsayısı ile değişme göstermeyip, doğrudan yakıt içerisindeki kükürt yüzdesine bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonunun hava fazlalık katsayısı ve yakıt içerisindeki azot miktarına bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada, kullanılan üç kazan için hem ekonomik, hem de çevresel açıdan en uygun hava fazlalık değerinin  $\lambda=1.45-1.50$  arasında seçilmesinin kazanların işletme şartlarına uygun olacağı belirlenmiştir. Kazanlar için en uygun hava fazlalık katsayısı seçilirken; kazan tipi ve kapasitesi, kullanılan yakıt, verimlilik, çevre faktörleri ve diğer işletme şartları dikkate alınarak bir seçim yapılmalıdır.

## Teşekkür

Çalışmamıza desteklerinden dolayı Tübitak-BAYG Münir Birsnel Vakfı ve MMO Kayseri Şubesi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynaklar

1. Baca Gazı Emisyon Ölçümü, Mühendis El Kitabı, Makina Mühendisleri Odası, Yayın No:233.
2. Boiler Book, Cleaver Brooks Company, Section-E (Emission), 1999.
3. Griffiths, J.F. and J.A. Barnard, Flame and Combustion, Third Edition, 1994.
4. İlbaş, M., Studies of Ultra Low NO<sub>x</sub> Burner, PhD Thesis, University of Wales, Cardiff, UK., 1997.
5. İlbaş, M., Syred, N., Influence of Temperature, Air: Fuel Ratio, Geometry and Fuel Type on the NO<sub>x</sub> Emissions of Small Burners, Proceedings of the Second Trabzon International Energy and Environment Symposium, Begel House, 123-127, Turkey., 1998.
6. İlbaş, M., Syred, N., Bowen, P., Doherty, T.O., A Study to Characterise an Industrial oil Burner-Furnace,

- The twenty-sixty International Symposium on Combustion, The Combustion Institute, Italy, 1996.
7. İlbaş, M., Doherty, T.O., Bowen, P., Syred, N., Prediction of NO<sub>x</sub> and Combustion Performance of Cooled Cyclone Combustors, 3<sup>rd</sup> European Conference on Industrial Furnaces and Boilers, Portugal, 1995.
  8. Jones, J.C., Combustion Science, Principle and Practice, Millennium Books, Australia, 1993.
  9. Sedighi, K., The Combustion of Fuel Oil and The Factors Influencing Pollutant Formation, PhD Thesis, University of Leeds, UK., 1990.
  10. Turns, S.R., An Introduction to Combustion, Concepts and Applications, Second Edition, McGraw-Hill International Editions, Mechanical Engineering Series, 1996.
  11. Voulgaris, A.E., Characterisation Studies of A 2 MW Oil-Fired Furnace Regarding Temperature Distribution and Emissions of Nitrogen Oxides, Master Thesis, University of Wales, Cardiff, UK, 1995.
  12. Yılmaz, İ., Sıvı Yakıtlı Yakma Sistemlerinde Yanma ve Emisyon Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2001.