



## DOĞAL GAZ YAKITLI BİR KAZANDA KATI YÜZEY İLAVESİNİN NO<sub>x</sub> EMİSYONLARINA ETKİSİ

Emre UĞURLUOĞLU\*, Y. Erhan BÖKE\*\* ve Özer AYDIN\*\*\*

\*İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, emreugurluoglu@gmail.com

\*\*İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi, İstanbul, Türkiye, boke@itu.edu.tr

\*\*\*Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye, ozer.aydin@dpu.edu.tr

(Geliş Tarihi: 27.06.2016, Kabul Tarihi: 29.12.2016)

**Özet:** Bu çalışmada gaz yakıtlı kazanlarda ısınım ile ısı geçişini arttırmak için yanma odası içerisine yerleştirilen ilave katı yüzeylerin alev sıcaklığına ve NO<sub>x</sub> emisyonlarına olan etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Yanma odasında katı yüzey ısınımını arttırmak için bu katı yüzeylere kanat ilavesi yapılmıştır. Katı yüzeyler (“kovan” olarak isimlendirilen) et kalınlığı 1 mm, boyları 20 cm olan 25 ve 30 cm çapındaki içi boş silindirik paslanmaz çelik elemanlardır. TS EN 676 standardında tarif edilen alev geri dönüşlü bir kazanın yanma odası içine 2, 4 ve 6 kanata sahip kovanlar yerleştirilmiş ve yanma odasındaki alev sıcaklıkları ile NO<sub>x</sub> emisyonları ölçülmüştür. Yanma odasına yerleştirilen kovanlar ile kovansız durumlarda yapılan deneylerde 30 cm çaplı kovanın kanat sayısı arttıkça alev geri dönüş bölgesindeki sıcaklıkların ve NO<sub>x</sub> emisyonların azaldığı tespit edilmiştir. Kazanın baca gazı sıcaklığı ve NO<sub>x</sub> emisyonları kovansız duruma göre daha düşük ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal gaz yanması, NO<sub>x</sub> azaltma, Alev sıcaklığı.

## THE EFFECT OF ADDITIONAL SOLID SURFACE ON NO<sub>x</sub> EMISSION IN NATURAL GAS FURNACES

**Abstract:** In this study, the effect of additional solid surfaces that placed in the combustion chamber on the flame temperature and nitrogen oxide emissions was experimentally investigated. In order to increase the solid surface radiation in the combustion chamber, the wing was added to the solid surface. The solid radiation surface (named as “filling material”) was stainless steel tube with a wall of thickness 1 mm and diameters of 25 and 30 cm with lengths of 20 cm. Filling materials with 2, 4, 6 wings were placed in the combustion chamber of a 116 kW fire tube water which is defined in the Turkish Standards TS EN 676, and the flame temperature and NO<sub>x</sub> emissions were measured in the combustion chamber. According to the experiments, it was seen that the as the number of wing increases on filling material with 30 cm diameter, temperature and NO<sub>x</sub> emissions in the flame back return region were decreased. The flue gas temperature and NO<sub>x</sub> emission of the flue gas leaving the boiler were measured lower than the no fill material case.

**Keywords:** Natural gas combustion, NO<sub>x</sub> reduction, Flame temperature.

### GİRİŞ

Diğer fosil yakıtlarla kıyaslandığında, kirletici emisyonlar bakımından daha temiz bir yakıt olan doğal gazın yanması sonucunda genellikle karbondioksit, karbonmonoksit, su buharı ve azot oksit emisyonları oluşmaktadır. Doğal gaz yanması sonucu oluşan alev sıcaklıkları diğer fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında yüksek olduğundan, önlem alınmadığı takdirde azot oksit emisyonları yüksek seviyelere çıkmaktadır. Literatürde doğal gaz yanması sonucu emisyonların azaltılması ve kazan ısı veriminin artırılmasını içeren birçok deneysel ve sayısal çalışma mevcuttur. Azot oksit emisyonu azaltma yöntemlerinden biri olan duman gazı geri beslemesi ile yapılan deneylerde daha düşük değerler ölçülmüştür (Hepbaşlı, 1991). İleri alev

bölgesine metan püskürterek ve düşük NO<sub>x</sub> yakıcılarla (bu yakıcılar üzerinde havanın ve yakıtın kademelenmesini sağlayan konstrüktif değişiklikler yapılarak) farklı karışımlar oluşturup NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltılması üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışma sonucunda ısı NO oluşumunun reaksiyon sıcaklığına, bölgesel stokiometriye ve oyalanma zamanına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Yakıtsal NO oluşumunda ise yerel oksijen derişiklikleri önemli rol oynamakla beraber, alev sıcaklığı da etkilemektedir (Muzio ve Quartucy, 1997). S. C. Li and F. A. Williams tarafından yapılan ve metanın kullanıldığı farklı bir çalışmada ise farklı ekivalans oranlarında yanma havasına belirli bir miktarda su (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ve Argon ile birlikte) ilave edilerek NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir (Li ve Williams, 1999). C. D. Taglia et al. tarafından

Cfc- Tasc programıyla yapılan sayısal çalışmada yakıcıya yakın bölgeye ısı değiştiricisi konularak veya yanmanın gerçekleştiği bölgede konstrüktif değişiklik yapılarak, düşük sıcaklık ve NOx emisyonları elde edilmiştir (Taglia,2001). M. İlbaş, vd., yaptıkları nümerik çalışmada yanma odasına yerleştirilen levhanın sıcaklık ve azotoksit emisyonuna etkisini incelemiştir. FLUENT programının kullanıldığı bu çalışmada ilave ısıtım yüzeyinin NOx ve yanma odası sıcaklığını azalttığı saptanmıştır (İlbaş ve diğ.,2006).

K. Onat ise doğal gaz ısıtımını artırarak ocak sıcaklığını düşürmek için alevin içerisine yerleştirilen çeşitli şekildeki katı yüzeylerin uygulamadaki diğer yöntemlere göre etkenliğini araştırmıştır. Doğal gaz ocaklarında tanecik ve ısı ısıtımını bulunmadığından ocak ısıtım yüzeyine geçen ısı katı ve sıvı yakıt ocaklarına göre daha az olacağı ve daha yüksek sıcaklıklar tespit edileceği düşünülmüştür. A. Akgüngör, 35 kW kapasiteli TS EN 676 standardına göre brülör testi için tasarlanmış doğal gaz yakıtlı bir deney kazanına cebri brülör monte ederek laboratuvar şartlarında, kazan içerisinde alev özelliklerini ve ortaya çıkan emisyonları incelemiştir. Ş.Yılmaz, A. Abdülkadir Akgüngör tarafından yapılan çalışmadaki deney kazanının hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarıyla modelini oluşturmuş, nümerik ve deneysel verileri karşılaştırmıştır (Yılmaz,2001). S. Tucer doğal gaz yakıtlı bir ocak için yaptığı çalışmada, ocak sıcaklığının yüksek olduğu durumda yakma gazından gelen azotun kimyasal reaksiyona girerek NOx oluşumuna sebebiyet verdiğini belirtmiştir. Sayısal modellemede katı yüzey ısıtımını arttırmak amacıyla dolgu maddeleri kullanılmıştır. Dolgu geometrileri için ısı geçiş oranları farklı tespit edilmiştir. Bunun nedeninin farklı geometrilerde dolgunun alanı, dolgu ile ocak duvarları arasındaki şekil faktörleri, eşdeğer tabaka kalınlıkları ve gaz emisivitelerindeki farklılık olduğunu vurgulamıştır. Tezin sonucunda boru kısmı olan dolgularda belirli bir dolgu çapı için kanat sayısı arttıkça ısı geçişinin arttığı görülmüş ve belirli bir kanat sayısı için optimum kovan çap ve boyu değeri bulunmuştur (Tucer, 2005). Ö. Aydın tarafından yapılan deneysel ve nümerik çalışmada TS EN 676 standardına göre imal edilmiş ocak boyu ayarlanabilir alev geri dönüşlü bir brülör test kazanına cebri brülör monte edilerek laboratuvar şartlarında doğal gaz yakılmaktadır. Kovansız ve çap x uzunluk değerleri 20x20, 25x20, 25x40, 30x20, 30x40 cm olan kovanlarda, farklı hava fazlalık katsayıları ve ısıl güçlerde bu çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışma, FLUENT programı yardımıyla gerçek şartları uygun modellenmiş; deney ve model sonuçları sıcaklık değişimleri (ocak ve bacada), emisyonlar (ocak ve bacada) ve ısıl verim yönünden irdelenmiştir. Yapılan CFD çalışmalarında HFK=1.26 değeri için kazanın yanma odasında katı yüzey bulunmadığı duruma (kovansız) göre katı yüzey alanı arttıkça kazanda ısıtım suyunun aktarılacak enerjinin arttığı hesaplanmıştır.

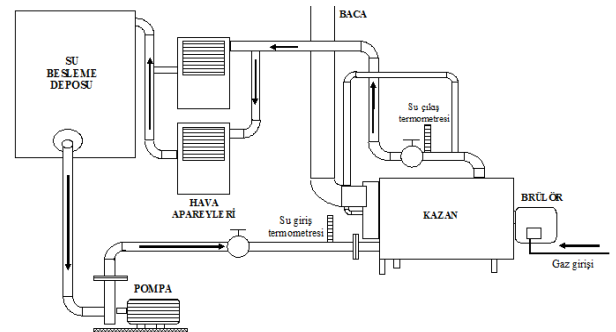
**Tablo 1.** Ocak cidarına aktarılan enerji (Aydın, 2005).

Kazanın Yanma Odasındaki Parametreler	Kazanda Suyu Aktarılan Enerji (kW)
Kovansız	91.7
25x20	95.0
30x20	95.9

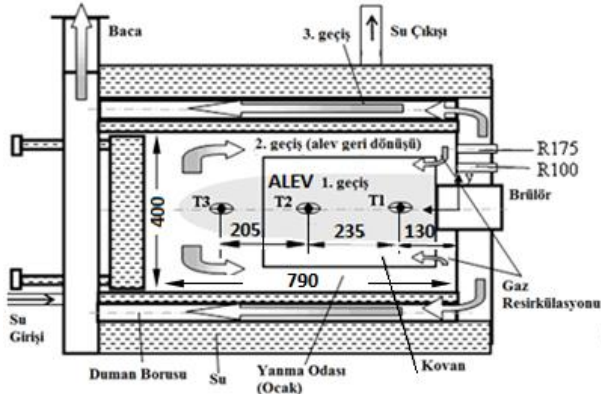
Yanma odasında katı yüzey ısıtımını arttırmak amacıyla yapılan çalışmalarda kovan olarak adlandırılan dolgu maddelerinin özellikle kısa boylarında azotoksit ve karbonmonoksit emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir (Aydın ve Boke, 2009; Aydın ve Boke, 2010). Kovan boyları kısaldığı zaman ise katı yüzey ısıtımını azaldığı için ocak cidarına olan ısı transferi azalmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada boyu 20 cm olan kovanlara kanat ilavesi yapılarak ısıtım yüzeylerinin artırılması sağlanmıştır. Kovan üzerine ilave ısıtım yüzeylerinin yanma odası sıcaklığına ve emisyonlarına etkisini inceleyen araştırmaların devamı olan bu çalışmada, cebri(üflelemeli) brülör ile TS EN 676 standardında alev geri dönüşlü kazanda katı yüzey ısıtımını arttırmak amacıyla değişik çap ve boylardaki kovanlara değişik sayılarda (2, 4 ve 6) kanatlar monte edilmiştir.

## DENEYSEL ÇALIŞMA

Deney tesisatını oluşturan bileşenler; kazan, pompa, su besleme deposu, hava-su ısı değiştiricisi ve bacadır (Şekil 1). Deneylerde, TS EN 676 standardına göre imal edilmiş, ocak boyu ayarlanabilir, en büyük ocak boyunda (790 mm) ve 400 mm çapında maksimum kazan ısıl kapasitesi 116 kW (100 000 kcal/h) olan alev geri dönüşlü bir kazan kullanılmıştır (Şekil 2). Kazanın yanma odası içerisinde gerçekleşen doğal gazın yanması ile açığa çıkan yanma sonu gazlarının sahip olduğu ısı enerjisi suya aktarılmaktadır. Deneylerde kazana su girişi sıcaklığı 70°C, kazandan çıkan suyun sıcaklığı ise 90°C olacak şekilde soğutma sistemi ayarlanmıştır. Deneylerde yapılan ölçümlerin bazıları (sıcaklıklar, gaz ve su debileri) zamana bağlı olarak ölçülerek deney süresince veri toplama ve kayıt cihazına kaydedilmiştir.



**Şekil 1.** Deney düzeneği.



Şekil 2. Deneysel kazan ve sıcaklık ölçüm noktaları.

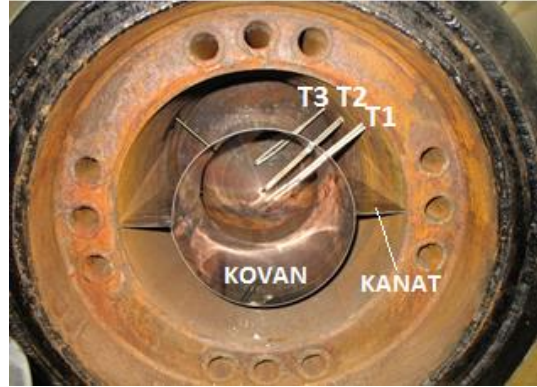
Kazanın yanma odası eksenine boyunca ön, orta ve arka kısımlarındaki alev sıcaklıklarının ölçümü için sırasıyla yüksek sıcaklığa dayanıklı seramik kılıflı S tipi (1800°C) T1, T2 ve T3 olarak isimlendirilen termoelemanlar yerleştirilmiştir. Kazan kapağından açılan iki farklı noktadan yanma odasında aksel yönde belli aralıklarda gaz analizi yapılmış ve bu noktalarda sıcaklıklarda ölçülmüştür. Bu noktaların isimleri R100 ve R175 olarak adlandırılmıştır. R100 ölçüm hattı ocak yarıçapının 0.50, R175 ölçüm hattı ise ocak yarıçapının 0.875 oranında yer alacak şekilde ocak içinde oluşturulmuştur. R100 ölçüm hattı kovanların içinden alev kenarından geçerken, R175 ölçüm hattı ise kovanların dışından ve aynı zamanda alev geri dönüş bölgesinden geçmektedir. Yanma odası içinde gaz analizi seramik gaz örnekleme probu ile yapılmıştır. Bu probun içerisine gaz analizinin yapıldığı noktadaki sıcaklığı ölçmek için termoeleman yerleştirilmiştir. Deneyler bacada karbonmonoksit (CO) değerinin minimum olduğu ve ön deneylerle belirlenen HFK=1.26 değerinde yapılmıştır. Tablo 2’de deneylerin yapıldığı tarihlerde BOTAŞ kurumundan alınan doğal gaz bileşimi görülmektedir.

Tablo 2. Deneylerin yapıldığı tarih itibari ile doğal gaz hacimsel oranları.

Bileşen	Hacimsel oran (%)
Metan	81.25
Etan	8.60
Propan	1.72
Bütan	1.63
Pentan	0.76
Oksijen	0.40
Karbondiyoksit	1.43
Azot	4.21
TOPLAM	100.00

Deneylerde kazanın yanma odası içerisinde ışınım ile olan ısı geçişini arttırmak için kovan adı verilen kalınlığı 1 mm olan yüksek sıcaklığa dayanıklı çelik malzeme sacdan yapılmış içi boş iki ucu açık silindirik elemanlar kullanılmıştır (Şekil 3). Deneylerde kullanılan kovanların çapları ve boyları, ölçüler cm biriminde

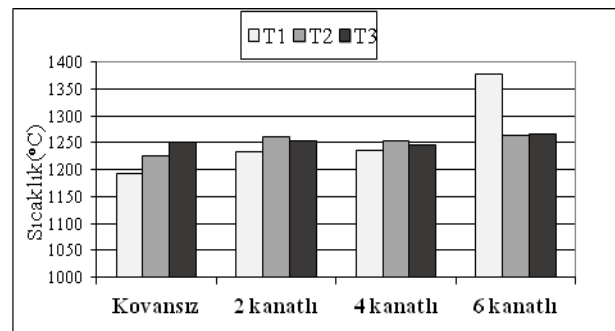
olmak üzere Ø25x20, Ø30x20 olarak verilmiştir. Kovan çaplarının ocak çapına oranı sırasıyla 0.625 ve 0.750 olup, kovan boylarının ocak boyuna oranı 2.53 olarak belirlenmiştir. Yanma odası içerisinde ışınım ile olan ısı geçişini daha da arttırmak için söz konusu bu kovanlara 2, 4 ve 6 kanat ilavesi yapılmıştır. Kanatsız kovanlar ise yanma odasında merkezlemeyi sağlamak için küçük ayaklar ile teçhiz edilmiştir. Yanma odasının boş hali “kovansız” olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3. Yanma odasına içerisine yerleştirilmiş 2 kanatlı kovan.

## DENEY SONUÇLARI

Şekil 4’de 2, 4, 6 kanatlı 25x20 kovanları ile kovansız duruma ait HFK=1.26 değeri için yanma odası eksenine boyunca ölçülen alev sıcaklıkları görülmektedir. Kanat sayısının arttıkça yanma odasının merkezinde alev sıcaklıklarının artış gösterdiği görülmektedir. Yanma odası ekseninin baş (T1), orta (T2) ve son (T2) kısmındaki alev sıcaklıkları hemen hemen birbirine yakın değer almıştır.



Şekil 4. Kovansız ve 25 x 20 kovanına kanat ilavesi durumunda yanma odası eksenine boyunca ölçülen sıcaklıklar.

Kovansız ve 25 x 20 kovanına kanat ilavesi durumunda R100 ve R175 ölçüm hatlarındaki ocak içi sıcaklık ve NOx değerleri HFK=1.26 değeri için Tablo 3 ve 4’de verilmiştir. R100 ölçüm hattında ölçülen sıcaklıklarda yanma odasının arka tarafına doğru gidildikçe kovanlı ve kovansız durumlar için artış görülmektedir. Bu artışın nedeni alevin ocak arka duvarına çarpmasından dolayı alevin geriye doğru yayılmasından kaynaklanmaktadır. Alevin kovan tarafından baskılanması alevin kazanın arkasına doğru

uzamasına neden olmuştur. Kovan üzerindeki kanatlar bu ölçüm hattı üzerinde bulunmadığından ölçülen sıcaklıklarda kanat sayısının sıcaklıklara etkisinin olmadığı görülmektedir. R100 ölçüm hattında ölçülen NOx emisyonların kovanlı durumlarda daha yüksek oldukları görülmektedir. Kovanlı deneylerde ölçülen alev merkezindeki sıcaklıkların yüksek olması (Şekil 4) NOx emisyonlarında artışa neden olmuştur.

R175 ölçüm hattının alev geri dönüş bölgesi üzerinde olması nedeniyle ocak arkasına gidildikçe sıcaklıklar artmıştır. Yanma odasına kovan konulması durumunda artan kanat sayısı ile birlikte sıcaklıklarda azalmalar görülmektedir. Katı yüzeyler bu bölgede sıcaklıkların azalmasında önemli rol oynamıştır. Fakat bu bölgedeki NOx emisyonları kovansız duruma göre daha yüksek ölçülmüştür. R175 ölçüm hattında ölçülen sıcaklıklar termal NOx oluşumunu tetikleyen sıcaklıklar olmadığı için burada ölçülen NOx emisyonlarının alev bölgesinde oluştuğu söylenebilir.

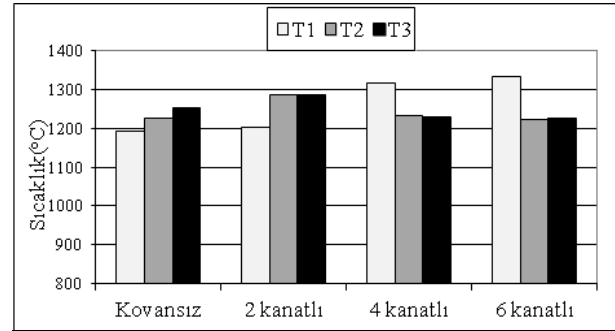
**Tablo 3.** Kovansız ve 25x20 kovanına kanat ilave edilmesi durumunda R100 ölçüm hattı sıcaklık ve NOx değerleri.

R100	Sıcaklık (°C)				
	KOVANSIZ	25X20	25x20 2 kanatlı	25x20 4 kanatlı	25x20 6 kanatlı
Ocak ağızından mesafe (cm)					
0	704	637	625	603	609
10	747	724	706	700	690
20	775	799	793	766	785
30	791	813	795	770	809
40	788	819	800	771	840
R100	NOx (mg/m <sup>3</sup> )				
0	140	134	146	134	131
10	138	134	144	136	134
20	121	119	138	136	138
30	121	125	142	132	127
40	123	131	148	129	127

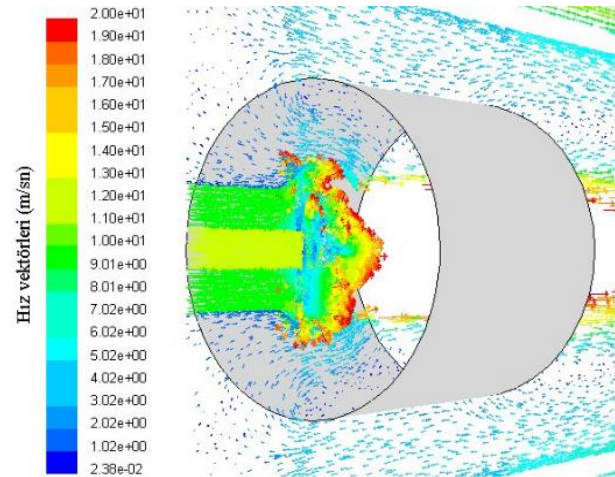
**Tablo 4.** Kovansız ve 25x20 kovanına kanat ilave edilmesi durumunda R175 ölçüm hattı sıcaklık ve NOx değerleri.

R175	Sıcaklık (°C)				
	KOVANSIZ	25X20	25x20 2 kanatlı	25x20 4 kanatlı	25x20 6 kanatlı
Ocak ağızından mesafe (cm)					
0	681	697	648	643	668
10	701	715	685	673	688
20	739	733	723	700	719
30	761	736	745	725	743
40	784	741	768	738	765
R175	NOx (mg/m <sup>3</sup> )				
0	138	131	140	131	144
10	140	134	140	140	146
20	140	134	148	142	146
30	140	134	148	144	148
40	138	134	170	154	150

Şekil 5'de 2, 4, 6 kanatlı 30x20 kovanları ile kovansız duruma ait HFK=1.26 değeri için yanma odası eksenı boyunca ölçülen alev sıcaklıkları görülmektedir. Kovanlı deneylerde alevın baş (T1) bölgesinde sıcaklıkların yüksek değeri aldığı görülmüştür. Kovan çapının büyümesinden dolayı alevın bu bölgesine geri dönüşler sıcaklığın artmasına neden olmuştur. Fakat nispeten daha soğuk gazların bir kısmının alev bölgesine geri dönmesi kanatlı kovanlarda alevın orta ve son kısımlarında sıcaklıkların kovansız duruma göre daha düşük değeri almasına neden olmuştur. Literatürde mevcut 30x20 kovanlı CFD modelleme çalışmasında yanma odasındaki hız vektörleri, gazların alev bölgesine geri dönüşlerinin olduğunu göstermiştir (Şekil 6), (Aydın, 2005).



**Şekil 5.** Kovansız ve 30 x 20 kovanına kanat ilave edilmesi durumunda yanma odası eksenı boyunca ölçülen sıcaklıklar.



**Şekil 6.** 30x20 kovanlı sayısal modelde hız vektörleri (Aydın, 2005; Aydın ve Boke, 2009).

Kovansız ve 30 x 20 kovanına kanat ilave edilmesi durumunda R100 ve R175 ölçüm hatlarındaki ocak içi sıcaklık ve NOx değeri için HFK=1.26 değeri için Tablo 5 ve 6'da verilmiştir. R100 ölçüm hattında ölçülen sıcaklıklarda alevın ocak arka duvarına çarpıp alevın geriye doğru geri dönmesinden (2. geçiş) dolayı kovanlı ve kovansız deneylerde artış olmuştur. Kovanlı deneylerde R100 hattında ölçülen sıcaklıklar daha düşük değeri almıştır. 4 ve 6 sayılı kanatlı kovanlar ile yapılan deneylerde sıcaklıkların azaldığı görülmüştür. Bu ölçüm hattında sıcaklıkların azalmasında kanat etkisinden daha çok artan kovan çapının etkili olduğu söylenebilir. Çünkü kovan çapı artıkça alevın kovan



tarafından çevresel baskılanması azalmaktadır. R100 ölçüm hattında NO<sub>x</sub> emisyonları ise sıcaklıklarda olduğu gibi benzer karakteristik özellik göstermiştir. Fazla kanat sayısına sahip kovanlı deneylerde alev bölgesindeki sıcaklıkların düşük olmasından dolayı R100 hattında NO<sub>x</sub> emisyonları düşük değerler almıştır.

**Tablo 5.** Kovansız ve 30x20 kovanına kanat ilave edilmesi durumunda R100 ölçüm hattı sıcaklık ve NO<sub>x</sub> değerleri.

R100 Ocak ağızından mesafe (cm)	Sıcaklık (°C)				
	KOVANSIZ	30X20	30x20 2 kanatlı	30x20 4 kanatlı	30x20 6 kanatlı
0	704	742	636	594	595
10	747	786	694	630	635
20	775	824	780	693	695
30	791	848	793	750	770
40	788	852	816	800	825
R100	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )				
0	140	134	113	107	111
10	138	134	117	105	111
20	121	119	113	119	119
30	121	125	121	123	125
40	123	131	123	127	127

R175 ölçüm hattında kanatların sıcaklıkların azalması üzerinde etkisi daha belirgin olmuştur. Kovanlı deneylerde özellikle kanat sayısının artışı ile sıcaklıkların kovansız deneye göre azaldığı görülmektedir. R175 ölçüm hattında ölçülen NO<sub>x</sub> emisyonlarında sıcaklıklardaki azalmaya paralel olarak düşüş olmuştur. Kovanlı deneylerin tamamında NO<sub>x</sub> emisyonları kovansız deneye göre daha düşük değer almıştır. Katı yüzeylerin artması sıcaklıkları azalttığı gibi NO<sub>x</sub> emisyonlarının da azalmasına neden olmuştur.

**Tablo 6.** Kovansız ve 30x20 kovanına kanat ilave edilmesi durumunda R175 ölçüm hattı sıcaklık ve NO<sub>x</sub> değerleri.

R175 Ocak ağızından mesafe (cm)	Sıcaklık (°C)				
	KOVANSIZ	30X20	30x20 2 kanatlı	30x20 4 kanatlı	30x20 6 kanatlı
0	681	629	623	570	565
10	701	695	650	590	593
20	739	733	700	640	648
30	761	767	735	693	700
40	784	795	755	718	745
R175	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )				
0	138	131	117	111	134
10	140	134	117	109	132
20	140	134	121	113	131
30	140	134	125	125	134
40	138	134	131	134	131

25x20 ve 30x20 kovanlarına kanat ilavesi durumunda kazanın bacasından atılan NO<sub>x</sub> emisyonlarının değişimi

Tablo 7’de verilmiştir. Kovanlara kanat ilavesi durumunda baca sıcaklığında yaklaşık 15°C azalma görülmektedir. Baca sıcaklığındaki bu azalma yakıtın yakılması sonucu elde edilen enerjinin daha verimli kullanıldığını göstermektedir. Bacadan atılan enerji azaltılarak yakıt tasarrufu sağlanmış olmaktadır. Bacadan atılan NO<sub>x</sub> emisyonlarında da kovansız duruma göre azalma meydana gelmiştir.

**Tablo 7.** Kovansız, 25x20 ve 30x20 kovanına kanat ilave edilmesi durumunda bacada ölçülen sıcaklık ve NO<sub>x</sub> değerleri.

KOVANSIZ	25x20 2 kanatlı	25x20 4 kanatlı	25x20 6 kanatlı
Sıcaklık (°C)			
326	329	308	313
NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )			
142	150	127	140
KOVANSIZ	30x20 2 kanatlı	30x20 4 kanatlı	30x20 6 kanatlı
Sıcaklık (°C)			
326	320	322	313
NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )			
142	119	117	119

## SONUÇLAR

Doğal gaz ülkemizde ve dünyada yaygın kullanılan bir yakıt olduğundan doğal gazın enerji dönüşüm veriminin artırılması ve yanması sonucu çıkan emisyonların azaltılması önemlidir. Bu çalışmada yanma odasına yerleştirilen ilave ışınım yüzeylerinin (farklı ölçülerde kovanlar ve farklı sayılarda kanatlar) alev sıcaklığı ve NO<sub>x</sub> emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yanma odasında katı yüzey ışınımını arttırmak amacıyla boyları 20 cm olan 25 ve 30 cm çaplı et kalınlığı 1 mm olan içi boş silindirik dolgu elemanlarına (kovan) kanat ilavesi yapılmıştır. Yanma odasına yerleştirilen farklı çaplar ve kanatlara sahip kovanlar ile kovansız durumda yapılan deneylerde kazan içinden sıcaklık ve emisyonlar ölçülmüştür. Yapılan bu ölçümler karşılaştırıldığında 30 cm çaplı kovanda alev bölgesine gaz dönüşünün daha fazla olması nedeniyle alev bölgesindeki sıcaklıkların daha düşük olduğu ve dolayısıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarının, 25 cm çaplı kovanla kıyaslandığında, azaldığı görülmüştür. 30x20 kovanının kanat sayısındaki artışa paralel olarak geri dönüş hattında sıcaklıkların ve NO<sub>x</sub> emisyonların düşük olduğu, akışı bozmadığı tespit edilmiştir. Bu durum R175 ölçüm hattı ocak ağzından mesafenin 0 cm olduğu konumdaki NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinden görülmektedir. R175 ölçüm hattında ocak ağzından 0 cm uzaklıktaki ölçme noktası, yanma sonu gazlarının ocağı terk ettiği yerdir. 25x20 kovanlı deneylerde ise çapın azalması alevi baskılayarak alev boyunun uzamasına neden olmuş ve ocak merkezinde sıcaklık ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının artmasına neden olmuştur. Aynı kovanda kanat ilavesinin artırılması alev geri dönüş (2. geçiş) sıcaklıklarının ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının, kovansız ve kovanlı kanatsız durumlara kıyasla düşük

değer almasına neden olmuştur. 30x20 kovan kullanılması halinde ocağa yerleştirilmiş olan ilave ısıtım yüzey alanı 25x20 kovanlı duruma göre daha fazla olduğundan 30x20 kovan durumundaki ocak içi sıcaklıklarının 25x20 kovan durumundaki sıcaklıklardan ve NOx emisyonlarından daha düşük olduğu görülmektedir. Kovan ilave edilmesi yanma odası merkezindeki sıcaklıkların artmasına sebep olmuştur. Her iki kovan ilavesinde de R100 ve özellikle R175 ölçüm hattında kovansız ve kanatsız kovanlı durumla kıyaslandığında gaz sıcaklığında ve Nox emisyonunda azalma olduğu görülmektedir. Kazanın yanma odasında ısıtım yüzeylerinin artırılması, ısıtım ile olan ısı transferini arttırmış ve alev geri dönüş hattı ile bacagazı bölgesindeki NOx emisyonlarını azaltmıştır. Ayrıca yanma odasına konulan bu ilave yüzeyler baca sıcaklığının azalmasına dolayısıyla kazan verimini artırarak yakıt tasarrufuna neden olmaktadır. Kazanın bacasından ölçülen NOx emisyonları da özellikle 30x20 kovanlarında daha düşük değer almıştır.

## KAYNAKLAR

Akgüngör, A. A., 2000. Doğal gaz yanması ve emisyon oluşumu, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aydın, Ö., 2005, Gaz yakıtlı ocaklarda katı yüzeyin emisyon ve verime etkisi, Doktora Tezi, ESOGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Aydın O, Boke Y. E., 2009, Effect of the radiation surface on temperature and NOx emission in a gas fired furnace, Fuel 88, 1878–1884.

Aydın O, Boke Y. E., 2010, Experimental and numerical modeling of the effect of solid surface on NOx emission in the combustion chamber of a water heater, Computers & Fluids 39, 674–682.

Hepbaşlı, A., 1991, Doğal gaz yakıtlı örnek bir tesiste duman gazı geri beslemesiyle azot oksit emisyonlarının azaltılması, Isı Bilimi ve Tekniği 8. Ulusal Kongresi, Eskişehir, Türkiye.

İlbaş, M., Yılmaz, İ., Özkan, F., 2006, Gaz türbini yanma odasında hidrojen ve hidrokarbon yanmasının modellenmesi ve NOx oluşumunun incelenmesi, Mühendis ve Makina, Cilt:47, Sayı:559.

Li., S. C., Williams, F. A., 1999, NOx Formation in two-stage methane-air flames, Combustion and Flame, 118, 399-414.

Muzio, L. J., Quartucy, G. C., 1997, Implementing NOx control: Research to application, Prog. Energ. Combustion Science, vol.23, 233-266.

Onat, K., 1997, Doğal gaz ısıtımının artırılması için bir öneri, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 18, 39-42.

Taglia, C. D., Gass, J., Dreher, H., 2001, Optimization of a low- NOx combustor chamber using CFD simulations, Progress in Computational Fluid Dynamics, vol.1, 117-130.

TS EN 676, 2006, Brülörler–Otomatik üfleli–Gaz yakıtlar standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Tucer, S., 2005. Katı yüzey ısıtım ile gaz yakıtlı ocaklarda ısı geçişinin artırılması, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yılmaz, Ş., 2001. Yanma odasının modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.