

DOĞALGAZ YANMALARINDA NO_x OLUŞUMU

Semiha ARAYICI

İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Doğalgazın yanması sonucu oluşan atık gazlar, çevre koruması açısından ele alındığında, özellikle NO_x emisyonları son yıllarda gittikçe daha çok önem kazanmaktadır. NO_x emisyonlarının oluşum mekanizmaları, bu emisyonları azaltacak yöntemler ve bu yöntemlerin etkinlik dereceleri, yakıt ve yakma sistemine bağlı olarak değişen emisyon faktörleri ve emisyon miktarları bu yazının konularıdır.

1. GİRİŞ

Ekonomik gelişmenin en önemli parametrelerinden olan enerji, toplumun yaşam düzeyinin iyileştirmesinde ve gelişme hızının yükseltilmesinde en büyük itici güç olmuştur. Her ne kadar doğal kaynaklardan atmosfere verilen benzer kirleticilerin miktarı, fosil yakıtların kullanılabilir enerjiye dönüşüm ve tüketim süreçlerinde meydana gelen CO₂, SO₂, NO_x, tanecik, polisiklik organik bileşikler ... gibi kirleticilerinkinden çok daha fa/la ise de, bu sonuncuların derişiminin özellikle yoğun yerleşim merkezleri ve sanayi bölgeleri çevresinde büyük ölçüde artması, gerek insan sağlığı ve gerekse bitki örtüsü ve çevre dokusu üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu bağlamda kirletici kaynak emisyonlarının hava kirliliğine katkılarının önlenmesi ve yaşamsal tehlike oluşturacak sınırların aşılmasını önem kazanmaktadır. Büyük ölçekli faaliyetler sonucu bölgesel düzeyde ortaya çıkan çevre sorunları, CO₂ artışından kaynaklanan sera etkisi, florlu karbon bileşiklerinin ve azot oksitlerinin yol açtığı ozon tabakasının incilmesi ya da ozon deliği tehlikesi gibi olaylar ile giderek yerkürenin sorunu olmuştur.

Gelişen daha ciddi çevre koruma bilinci ve yanma sırasında oluşan zararlı emisyonları en aza indirecek yakına teknolojilerinin uygulanması sonucu zararlı emisyonlar ve termik kayıplar azaltılmış olmasına karşın yine de NO_x miktarı zaman zaman endişe verecek boyutlara ulaşmaktadır.

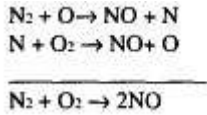
2. AZOTOKSİTLERİN OLUŞUMU

Fosil yakıtların yakılması sırasında, gerek yakıtla bağlı bulunan azot ve gerekse yakma havasındaki azot tepkime koşullarında oksijen ile birleşerek N₂O, NO, N₂O₃, N₂O₅, ve O₃ gazlarını meydana getirir. Ancak bunlardan N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅ ve NO₃ kararsız yapıda oldukları için NO ve NO₂ verecek şekilde bozunurlar. Bu nedenle yanma gazlarında bulunan azotoksitleri NO ve NO₂ şeklinde olup toplam oksit miktarı

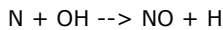
NO + NO₂ --> NO_x şeklinde ifade edilir.

Yüksek sıcaklıkta yanma işleminde azot oksitlerin oluşum tepkimeleri üç ana başlık altında toplanmaktadır: Isıl-NO, hızlı (ani)-NO ve Yakıt-NO.

Isıl-NO : Azot bileşikleri içermeyen yakıtların yanması sırasında yakıcı gazdaki atmosfer azotunun ortamda yeteri kadar oksijen bulunması halinde "ısı" mekanizma ile oksitlenmesi sonucu oluşmakta ve sıcaklığın üstel bir fonksiyonu olarak gelişmektedir. Zeldovich mekanizması uyarınca;



tepkimleri ile azot oksidin meydana gelişi, yüksek aktivasyon enerjilerinden dolayı 1300°- 1400°C üzerinde önem kazanmakta, bu sıcaklığın altında yakıtça zengin karışımlarda ise azotoksit indirgenmektedir. Oksijenin az miktarda bulunduğu alev bölgesinde ayrıca;

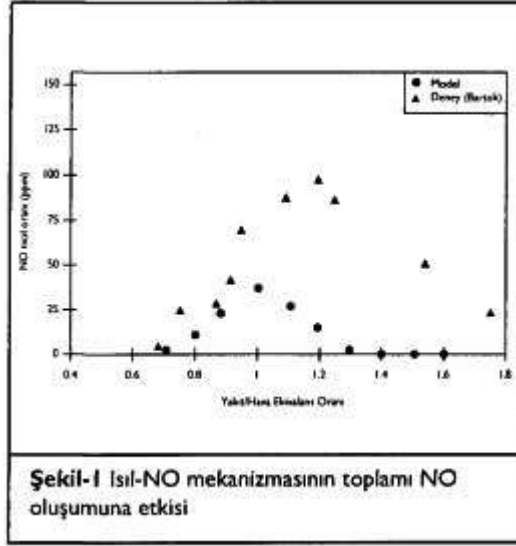


tepkimesi de meydana gelmekte, yakıtın oksitlenme tepkimelerinde önemli rol oynayan OH ve H radikallerinin NO oluşumunda da belirleyici olduğu görülmektedir.

Hızlı-NO :

Hidrokarbon yakıtların yanmasında azotoksitlerin oluşum hızları, özellikle zengin karışım bölgesinde Isıl-NO mekanizmasında tanımlanan azotun oksitlenme hızını aşmakta ve çok hızlı bir şekilde, ani-NO oluşumu

gerçekleşmektedir. Bu oluşumda özellikle (CH, CH₂) gibi hidrokarbon radikallerinin önemli rol oynadığı, bunların molckülcr azotla hızlı bir tepkimeye girerek amin ve siyanid gibi ara ürünler üzerinden zincirleme reaksiyon ile NO oluşumuna neden olduğu belirtilmektedir. Şekil 1'de Bortok'un (1972) deneysel NO ölçüm verileri ile Miller'in (1989) ısıl-NO modeli karşılaştırmıştır. (1,2)



Ekivalens oranın birden küçük olduğu fakir karışım bölgesinde model sonuçları ile deneysel verilerin uyum içinde olduğu görülür, bu da fakir karışım bölgelerinde tüm azotoksit oluşumunda Zeldovich mekanizmasının geçerli olduğu kabulünü doğrular. Yakıt/ hava karışımının bir ve birden büyük olduğu zengin karışım bölgesinde oksijen derişiminin azalmasına bağlı olarak model ve deney sonuçların farklı olduğu, bu bölgedeki tepkimelerde ısıl-NO yanı sıra ani-NO oluşumun ortaya çıktığı görülmektedir.

Yakıt-NO :

Yanına sonucu oluşan azotoksitler için bir başka kaynak la yakıtın bünyesinde bağlı azottur. Bu azotun azotoksit dönüşümü, büyük ölçüde sıcaklık ve stokiyometri gibi yanma bölgesinin yerel özelliklerine ve yakıt/hava karışımındaki azotun başlangıç derişimine bağlıdır. Yakıt-NO oluşumunda reaksiyon zincirinin, yakıttaki azot bileşiklerinin çok hızlı bir şekilde HCN ve NH₃'e dönüşümleri ile başladığı bilinmekte, azotun aromatik halkaya bağlı olması halinde HCN, amin şeklinde olması durumunda ise NH₃'ün ağırlık kazandığı belirtilmektedir.

3. AZOTOKSİT OLUŞUMUNUN DENETLENMESİ

Yanma sürecinde azotoksit oluşumunun önlenmesi, öncelikle azot veya azotlu bileşik içermeyen yakıtların kullanımı, NO_x'in baca gazlarından uzaklaştırılması ya da yanma sırasında NO_x oluşumunu önleyici yöntemlerin uygulanması ile yapılmaktadır. Yanma bölgesinde pik alev sıcaklığını düşürmek, yakıtın bu sıcaklıkla kalma zamanını azaltmak, yakma havasındaki oksijenin derişimini düşürmek ya da kademeli yanına sağlamak sıklıkla uygulanan yöntemlerdendir. Kuşkusuz en başta kullanılan yakıt türü olmak üzere; yöntemin uygulanma kolaylığı ve verimi, uygulama ile diğer kirlenici emisyonlarda olabilecek değişiklikler seçimde belirleyici olacaktır.

3.1. Kömürlerin Yanması:

Kömürlerin yanması ile oluşan NO_x'in büyük bir kısmı NO, çok az bir kısmı da NO₂ şeklinde olup ısıl-NO ve yakıt-NO kaynaklıdır. Taşkömürü ve linyitlerde genelde % 0,5-2 oranında aromatik halkaya bağlı olarak bulunan yakıt azotunun % 20-60 kadarı yanına sırasında NO'a dönüşmekte ve toplam NO_x emisyonu içinde bu yakıt kökenli NO'nun payı % 80'e ulaşmaktadır. Tablo 1'de kömürlerin değişik yakına sistemlerinde yanması sonucu oluşan kirlenicilerin emisyon faktörleri ve bu faktörlerin hassasiyetleri verilmiştir. (3)

NO_x emisyonunu azaltmak amacı ile yapılan çalışmaların başında az hava fazlası ile yakma gelir. Bu yöntem, eski yeni her büyüklükteki yakma sistemlerine uygulanabilmesi açısından en çok kullanılan denetim şeklidir. Yüksek alev sıcaklığı nedeniyle NO_x oluşumu artacağından bu yöntem pulvarize yakma sistemleri ve mazgal yakıcılarda ancak % 20 ve % 30 hava fazlasının üstünde etkin olmaktadır.

Tablo 1- Kömürlerin yanmasından çıkan kirleticilerin emisyon faktörleri *

Yakıcı Şekli	Tanecik ^b Kg/ton	Kükürt Oksitler ^c Kg/ton	Azot Oksitler ^d Kg/ton	Karbon monoksitler Kg/ton	Uçucu Organik ^e Kg/ton	Metan Kg/ton
Pulvarize Kömür ateşleme						
Kuru	5A (A)	19,56(17,54) - (A)	10,5(7,5) ^f (A)	0,3 (A)	0,04 (A)	0,015 (A)
Islak	3,5A ^g (D)	19,56(17,54) - (A)	17 (C)	0,3 (A)	0,04 (A)	0,015 (A)
Siklon fırınlar	1A ^h (D)	19,56(17,54) - (A)	18,5 (B)	0,3 (A)	0,04 (A)	0,015 (A)
Hareketli mazgal	30 ^h (B)	19,56(17,54) - (A)	7 (A)	2,5 (A)	0,04 (A)	0,015 (A)
Uçucu kül püskürtmeli siklonlar	0,5 (B)	19,56(17,54) - (A)	7 (A)	2,5 (A)	0,04 (A)	0,015 (A)
Uçucu kül püskürtmesiz siklonlar	6A (A)	19,56 (17,54) - (A)	7 (A)	2,5 (A)	0,04 (A)	0,015 (A)
Mazgal üstü denetimsiz	8 (B)	19,56(17,54) - (A)	3,25 (A)	3 (B)	0,04 (A)	0,015 (A)
Siklon sonrası	4,5 (B)	19,56(17,54) - (A)	3,25 (A)	3 (B)	0,04 (A)	0,015 (A)
Mazgal altı denetimsiz	7,5 (B)	15,54 (B)	4,75 (B)	5,5 (B)	0,65 (A)	0,4 (A)
Siklon sonrası	5,5 (C)	15,54 (B)	4,75 (B)	5,5 (B)	0,65 (A)	0,4 (A)
Elle yakma	7,5 (D)	15,54 (D)	1,5 (D)	45 (D)	5 (D)	4 (A)

^h Tanecikler, kömürün kül içeriği (A) sınıfından gösterilir. (Kül (A) = 12 % ise, tanecik = 12x5 = 60 kg/ton)

^c Toplam kükürt oksitler SO₂ sınıfından hesaplanır. Parantez içindeki değerler linyit emisyonları içindir.

^d Azot oksitler NO₂ sınıfından ifade edilir. Genel olarak NO_x içinde %95-99 NO, kalan NO₂ olarak bulunur. NO_x olarak belirtmek için faktör 0,66 ile çarpılır.

^e C₂-C₁₀ arası hidrokarbonları gösterir.

^f Parantez içindeki değer, tanjantiel yakma sistemi içindir.

^g Uçucu kül püskürtmesi yapıldığında kontrol edilemeyen tanecik emisyonları

^h Parantez içindeki büyük harfler emisyon faktör sınıflamasını gösterir.

Ayrıca stokiometrik olmayan kademeli yakma, yanma gazlarının geri dolaşımı, subuharı veya su püskürtülmesi, pahalı olmasına karşın NH₃ püskürtülmesi bu amaç için kullanılan etkin yöntemlerdendir. Bu yöntemlerin herhangi biri ya da bir kaçı vasıtasıyla yapılacak NO_x miktarını düşürmek işi, büyük ölçüde yakıcının tipi, kömürün özellikleri ve mevcut işletme deneyimi ile değişmektedir. Ayrıca NO_x'in denetimi için yapılan tüm bu kısıtlı yakmalar yanma gazlarında uçucu organik maddelerin ve CO emisyonunun miktarını arttırabilir. Bu nedenle NO_x denetimi, atık gazlardaki CO miktarı max. 200 ppm üst sınırını geçmeyecek şekilde yapılır. Yanmayı sağlayan diğer yöntemlerde CO sınırlaması yoktur.

3.2 Sıvı Yakıtların Yanması:

Sıvı yakıtların yanma ürünlerine ilişkin emisyon faktörleri ve hassasiyet dereceleri Tablo 2'de verilmiştir (3). Sıvı yakıt yanması sonucu ortaya çıkan NO_x'de yakıt azotunun ve yakma havasındaki azotun oksidasyonu ile oluşur. Yakıt kökenli NO_x, yakıtın azot içeriğinin ve yakma havasındaki oksijenin bir fonksiyonudur. Yakıt azotu % 20-70 arasında NO_x'e dönüşürse de ortalama olarak % 45 kabul edilir. Isıl-NO_x ise; büyük ölçüde pik alev sıcaklığının ve yakıcı boyutuna, yakma konfigürasyonuna ve işletme pratiğine bağlı olan ortamdaki oksijenin bir fonksiyonudur.

Ağır bakiye yağlarda yakıt kökenli NO_x, toplam NO_x'in % 50'sini geçerken, distile yağ yakan yakıcılarda baskın NO_x oluşumu, yakıtın yok denecek kadar az azot içermesi nedeniyle ısıl-NO_x şeklindedir. Ayrıca yakma konfigürasyonundaki değişiklikler NO_x oluşum miktarı üzerinde etkindir. Örneğin tangantiyel (köşe) yakıcılardan oluşan NO_x miktarı, düşey karşıt yakıcı sistemlerden çıkan NO_x'den çok daha azdır.

Kısıtlı fazla hava ile yakma, atıkgaz geri dolanımı, kademeli yanma gibi yöntemlerin biri ya da birkaçı NO_x miktarını %5-60 oranında düşürmektedir. Fazla hava ile yakma dışındaki yöntemlerin pek çoğu sadece büyük yakıcılara uygulanabilir iken kısıtlı fazla hava ile yakma işlemi pek çok küçük yakıcılarda uygulanabilmektedir.

3.3 Gaz Yakıtların Yanması:

"Temiz enerji" olarak tanımlanan doğalgazın yanmasında bile yanma tepkimesi sonucu bazı kirlenici emisyonlar meydana gelebilir. Örneğin kötü karışma, yetersiz hava gibi uygun olmayan işletme koşulları, büyük miktarlarda is, CO ve yanmamış hidrokarbon emisyonlarının nedenidir. Ancak doğalgazın yanmasında asıl kirlenici emisyon azotoksitlerdir ve bunların miktarı yanma odasının sıcaklığı ve yanma ürünlerinin soğuma hızı ile değişir. Emisyon düzeyi ise yanma odasının sıcaklığı ve yanma ürünlerinin soğuma hızı ile değişir. Emisyon düzeyi ise yakma ünitesi büyüklüğüne ve işletme koşullarına bağlıdır. Kimi büyük ölçekli yakma sistemlerinde NO_x kontrol için bir kısım işletme değişikliklerine gidilir. Örneğin stokiometrik olmayan yakma ve/veya iki kademeli yanma ile emisyon oranları % 5-50 oranına düşürülmüştür. Stokiometrik olmayan yanmada yakıcıların bir kısmı zengin yakıtla, bir kısmı fakir yakıtla çalıştırılırken, bir kısmı da sadece fazla hava temini için çalıştırılır. İki kademeli yakıcılarda ise birinci basamakta yakıcılar, stokiometrik havanın sadece % 70-90 oranında fazla hava olacak şekilde yakıtça zengin çalıştırılır, ikinci basamakta alev bölgesine fazla hava püskürtülerek yanma tamamlanır. Bu şekilde yakma işlemi yakma yakıtça zengin koşullarda gerçekleştirildiğinden NO_x oluşumu azalmaktadır. Az fazla hava ile yakma ve atıkgaz geri dolanımı da bir başka NO_x azaltım yöntemleridir. Birincisinde yakma işlemi; CO, uçucu organikler ve is gibi kirlenici emisyon oluşumuna neden olmayacak kadar fazla hava ile yapılır. Bu yöntemle ortamda oksijen yetersizliğinden dolayı NO_x emisyonları % 5-35 oranında düşürülür. İkincisinde ise; birincil yakma bölgesinde atık gazların dolanımı ile, bu gazların görece soğuk olmaları ve oksijen içermeleri nedeniyle NO_x oluşumu dolaylı olarak gaz miktarına bağlı olarak % 4-85 oranında düşürülmektedir. Sıralanan tüm bu yöntemlerin bir ya da birkaçının birlikte uygulanması ile doğalgaz yakan sistemlerde NO_x oluşumu % 70-90 oranında aşağı çekilir. Tablo 3'de doğalgaz yanmasında çıkan kirleniciler, emisyon faktörleri ve bunların hassasiyetleri verilmiştir.

Tablo 2-Akaryakıt yanmalarında emisyon faktörleri (Emisyon faktör sıralaması:A)						
Yakıcı Tipi ¹	Tanecik Kg/10 ³ l	Kükürt Oksitler ^h Kg/10 ³ l	Azot Oksitler ^c Kg/10 ³ l	Karbon Monoksitler ^d Kg/10 ³ l	Uçucu Organikler Kg/10 ³ l	Metan Kg/10 ³ l
Kuvvet Santralleri						
Ağır fuel oil	e	19xS	8	0.6	0.03	0.03
Sanayi tipi yakıcılar						
Ağır fuel oil	e	19xS	6,6 ^l	0.6	0.034	0.12
Hafif fuel oil	0.24	17xS	2.4	0.6	0.024	0.006
Ticari tip yakıcılar						
Ağır fuel oil	e	19xS	6.6	0.6	0.14	0.057
Hafif fuel oil	0.24	17xS	2.4	0.6	0.04	0.026
Evsel yakıcılar						
Hafif fuel oil	0.3	17xS	2.2	0.6	0.85	0.214

^a Yakıcı üst ısı değerlerine göre sınıflandırılabilirler:
Termik santral yakıcıları >106x10⁹ J/hr Sanayi tipi yakıcılar : 10,6x10⁹-106x10⁹ J/hr
Ticari tip yakıcılar : 0,5x10⁹-10,6x10⁹ J/hr Evsel tip yakıcılar < 0,5x10⁹ J/hr
^b S yakıtta bulunan % kükürt miktarıdır
^c NO₂ cinsinden azotoksitler. Evsel yakıcılar dışında tüm yakıcılardan çıkan NO_x içindeki NO miktarı % 95 dir.
^d Evsel yakıcılarda ise %75'dir.
^e CO emisyonları, yanma tam değil ise bu değer 10-100 katına çıkabilir.
^f Akaryakıtların yanmasından çıkan tanecik emisyonları, yakıtın numarası ve kükürt içeriği ile bağlantılıdır.
No:6 için : 1.25xS+0,38 kg/10³ lt No: 5 için: 1.25 kg/10³ lt ve No:4 için 0,88 kg/10³ lt dir.
^g NO_x emisyonları yakıtın azot içeriğine çok sıkı bağlı olup ampirik olarak hesaplanabilir. kg NO₂/10³ lt = 2.75 + 50 (N)2 formünde N, yakıtın azot içeriğidir. Azot içeriği > 0.5 % olan ağır fuel oil için 15 kg NO₂/10³ lt emisyon faktörü olarak kullanılabilir.

Tablo 3- Doğal Gaz yanmalarında emisyon faktörleri						
Tipi (106 Btu/hr ısı girişi)	Tanecik Kg/10 ⁶ m ³	Kükürt Oksitler ^a Kg/10 ⁶ m ³	Azot Oksitler ^b Kg/10 ⁶ m ³	Karbon monoksit Kg/10 ⁶ m ³	Uçucu Organikler ^c Kg/10 ⁶ m ³	Metan ^c Kg/10 ⁶ m ³
Kuvvet santral yakıcıları (>100)	16-80 (B)	9,6 (A)	8800 ^d (A)	640 (A)	23 (C)	4,8 (C)
Sanayi tipi yakıcılar (10-100)	16-80 (B)	9,6 (A)	2240 (A)	540 (A)	44 (C)	48 (C)
Evsel ve ticari tipi yakıcılar (<10)	16-80 (B)	9,6 (A)	1600 (A)	320 (A)	84 (D)	43 (D)

^a Doğalgazın kükürt içeriğinin ortalama 4600 g/10⁶ Nm³ olduğu kabul edilerek.
^b NO₂ cinsinden (Toplam NO_x'in % 95'nin NO şeklinde olduğu bulunmuştur.)
^c Tam yanma olmadığında bu değerlerin 10-100 kat üstüne çıktığı görülmüştür.
^d Tanjantiel yakıcılarda 4400 kg/10⁶ m³ alınır. Düşük yüklerde, bu faktörler, yük azaltma katsayısı ile çarpılacaktır.

4. SONUÇ

Çevreye olan duyarlılığın giderek arttığı günümüzde, pek çok ülkede yanma gazlarının neden olduğu kirliliğe karşı sıkı yaptırımlar uygulamaya sokulmuştur. Bu nedenle artık her ölçekte enerji üretiminde, çevresel etkiler dikkate alınarak yakıtların yanma sonucu en düşük kirlilik emisyonu verecek teknolojiler seçilmektedir.

Ülkemizde ise özellikle kış aylarında dayanılmaz boyutlara varan hava kirliliğine karşı, kısa vadeli çözüm olarak doğalgaz kullanımı devreye sokulmuştur. Kimi çevrelerde ise doğalgazın yanmasında kendine özgü kirlilik olarak azotoksitler, NO_x emisyonlarının olduğu belirtilmiş ve dikkatler gelecekte olası bir NO_x kirliliğine çekilmiştir. Kuşkusuz doğalgazın yakılmasında da çevreye kirlilik emisyonları verilmektedir. Ancak bu emisyonların büyük ölçekli kullanımlarda bile diğer yakıtların emisyonları ile karşılaştırıldığında çok az olduğu görülecektir. (Tablo 4) Nitekim doğalgaz kullanan Ambarlı Kombine Çevrim Santrali için yapılan bir değerlendirmede (6); % 99.99'lük bir yakma verimi ile yanma gazlarında NO_x miktarının EPA'nın kirlilik limitlerinin çok altında 125 mg/kwh olduğu CO emisyonunun ise hemen hemen hiç olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca sanayi ölçeğinde yapılan bir çalışmada (7)'de sıvı/doğalgaz (çift) yakıtlı yakıcı kullanılarak doğalgazın yakılmasında, CO miktarında beklenilen aksine azalma olurken NO_x emisyonlarının da % 60 oranında azaldığı bulunmuştur. Noktasal ve alansal bazda kullanılan yakıtların cinsi, yıllık tüketim miktarları saptandığında, hazırlanacak bir model ile bu yakıtların neden olduğu emisyon miktarlarını ve bunların hava kirliliğindeki ağırlıklarını saptamak mümkün olabilecektir.

Tablo 4- Kuvvet Santralleri Emisyonları

Enerji Kaynağı	Tesis Tipi	Net tesis verimi %	Kaynağın ısı içeriği (MJ/kg)	Emisyon kontrol tipi	Kükürte oksitler			Tanecik emisyonu			Azot oksitler		
					Kükürt giderme verimi (%)	SO ₂ emisyon faktörü (mg/MJ)	SO ₂ ^b emisyonu ton/MW-yıl	Kül içeriği % ağırlıkça	Tanecik emisyon faktörü (ton/MW-yıl)	Tanecik emisyonu ^c (ton/MW-yıl)	Emisyon kontrol tipi	NO _x emisyon faktörü (mg/MJ)	NO _x ^d Emisyonu (ton/MW-yıl)
Kömür (%3 kükürt)	Kuru davadan atışı	34.0	28	----	0	1929	180	8.8	2514	234	----	438	41
Kömür (%3 kükürt)	FBC	33.8	28	FGD	85	1929	27	8.8	2514	1(ESP)	Kademeli yanma	250	23
Kömür (% 3 kükürt)	IGCC	38.0	28	FGD	99	1929	7	8.8	2514	1(ESP)	Kademeli yanma	240	20
Ağır fuel oil (% 3 S)	Bailer	35.2	43	----	0	1395	126	0.4	1327	287	----	395	36
Hafif fuel oil (% 3 S)	Yanma ürübüleri	27.8	45	----	0	133	15	0.2	44	5	----	203	22
Doğalgaz (% 0.002 S)	Bailer	35.2	51	----	0	1	0.07	0.015	2.9	0.3	----	290	26
Doğalgaz (% 0.002 S)	Gl. kombine	44.7	51	----	0	1	0.06	0.015	1.9	0.2	Buhar çıkartma	168	4

^a SO₂ emisyon faktörü :0.9x (2x%S/ısı içeriği)x10⁶ (kükürdün % 10'nun kütle kaldığı kabul edilir.)
^b Yıllık SO₂ emisyonu :0.03171x (SO₂ emisyon faktörü / tesis verimi) (0.03171 mg/MJ'nin ton/MW-yıla dönüşüm faktörü)
^c Tanecik emisyonu : (0.8-0.9)x(% kül/ısı içeriği)x10⁶(% 10-%20 külün taban küllü olduğu kabul edilir)
^d NO_x emisyonu : (0.03171x(NO_x emisyon faktörü / net tesis verimi))
FBC = Akışkan yataklı yanma FGD = Atıkgaz kükürt giderimi
IGCC = Kömür gaz bileşik çevrim ESP = Elektro-statik çöktürme

KAYNAKÇA

1. Bartok, W., et al.. 1972; AICh Symp. Ser. 1226, Vol. 68,p30
2. Miller, J..A. and Bowman, C.T. 1989; Progress in Energy and Combustion Science, Vol.15,287-338
3. Compilation of Air Pollutant emission Factors, 4 th ed., U.S. Environmental Protection Agency, V.I. and2, 1985 4. Lim, K.J. et al., 1979; Technology Assesment : Report for Industrial Bailer Applications: NOx Combustion Modification. EPA Contract No. 68-02-3101
5. Energy and the Environment : Policy Overview, OECD Publications, p.203-206
6. Özgürel, B., Egeli, M.S., 1994; En Yüksek Verim, En Az Etki ; Kombine Çevrim Santralleri, 21. yüzyılda bütün yönleri ile Enerji Symp. p. 612-620
7. Bozacı, R.K. 1992 ; Endüstriyel Kazanlarda NOx Emisyonunu Azaltıcı Yöntemler ve Bir Uygulama. Doğalgaz, V. 19,63-70.