

LİNYİTLERİN UÇUCU MADDE YANMASI SIRASINDA NO_x EMİSYONUNUN İNCELENMESİ

Neslihan DURANAY, Dursun PEHLİVAN

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 23279 ELAZIĞ

ÖZET

Fosil yakıtların yanmaları sırasında oluşan, başlıca azotmonoksit, diazotoksit ve azotdioksit halindeki NO_x önemli atmosferik kirleticilerden olup, kömürün yakılmasında kükürt oksitlerden sonra ikinci hava kirletici olarak kayda değer korozyon olaylarına da yol açarlar. NO_x oluşumunda azotun kaynağı yakıt ve havadır. NO_x' un %60-80'i yakıttan ileri gelir. Fosil yakıtların yakılmasında azot oksitlerin kontrolü sadece yakıtın cinsine değil, aynı zamanda yakma sistemi ve çalışma koşullarına da bağlıdır.

Bu çalışmada sekiz farklı Türkiye linyitinin 1g ağırlığındaki tek tanelerinin önceden ısıtılmış boru fırın içine yerleştirilen bir döner sepet içinde yakılması sırasında uçucu madde ayrılması ve yanması periyodu içinde NO_x oluşumu izlendi.

Baca gazı analizi teknikleri ile elde edilen veriler NO_x oluşumunun uçucu madde içeriğine bağlı olduğunu göstermektedir. Bu sistemde NO_x düzeyleri termal ve yakıttan ileri gelen azot oksit oluşumu mekanizmalarıyla açıklanabilmektedir.

Anahtar kelimeler: Linyit, yanma, uçucu madde, NO_x

ABSTRACT

NO_x, forming during the combustion of fossil fuels, mainly in the forms of nitrogen monoxide, di-nitrogen oxide and nitrogen dioxide, is among important atmospheric pollutants and cause considerable corrosion incidences as a second atmospheric pollutant after sulfur oxides in the burning of coal. In the NO_x formation, the sources of nitrogen are fuel and air. About 60-80% of the total NO_x forms from fuel nitrogen. The control of NO_x emission in the fuel combustion systems depends not only on the kind of fuel but also burning system and conditions of combustion process.

In this study, NO_x emissions during volatiles evolution and combustion periods of 1-gram mass single particles of eight Turkish lignite were studied by burning them in a rotating basket placed into a preheated tube furnace.

Data obtained by flue gas analysis techniques showed that NO_x emissions depended on the volatile matter contents of the lignite. At this system, NO_x emission levels may be explained by both thermal and fuel NO formation mechanisms.

Key Words: Lignite, combustion, volatile matter, NO_x.

GİRİŞ

Havayı kirleten gazlar son 20 yılda büyük bir çevresel problem haline gelmiştir. Enerji üretimi amacıyla fosil yakıtların kullanımı ve endüstriyel tesisler hava kirliliğinin başlıca kaynaklarıdır. Yakma sistemlerinin çevresel etkisi ülkelerin enerji stratejilerine bağlıdır. Günümüzde güç üretiminde kömür geniş bir kullanıma sahiptir. Kömür gelecekteki enerji talebini karşılamada da önemli bir kaynak olacaktır. Çünkü rezervi diğer fosil yakıtlardan daha fazladır. Bunun için kömürlerin daha verimli ve çevreye daha az zarar verecek şekilde yakılabileceği teknolojilerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Taşdemiroğlu,1992; Thomas,1997; Kurose,2000)

Kömürün yanması sonucunda oluşan azot oksitleri başlıca çevre kirleticilerden biridir. Büyük miktarlarda kömürün kullanıldığı yakma sistemlerinin enerji problemlerinin çözülmesi için yapılan çalışmaların yanında NO_x'nin azaltılması için çalışmalar da önem kazanmıştır (Aoki vd.,2001). Yanma sırasında oluşan azot oksitleri hem kömürden hem de yakma sisteminde kullanılan havadaki azottan kaynaklanmaktadır (Doğu vd.,1991; Thomas,1997). Kömür azotu yanma esnasında sıcaklığa bağlı olarak uçucu madde ve char azotu olarak ayrılır. Uçucu madde içerisinde azot içeren bileşikler HCN, NH₃ ve piridinik, pirolitik ve polisiklik aromatikler gibi küçük moleküller şeklindedir. Uçucu maddenin içerdiği azotlu bileşiklerin NO_x' e dönüşmesi , uçucu madde ayrılma bölgesindeki başlangıç oksijen konsantrasyonuna bağlıdır. Bu durum yakıt azotunun NO_x'e dönüşümünü azaltmada değerlendirilmektedir.

Oluşan NO_x gazlarının miktarları sadece oksijen konsantrasyonuna değil, aynı zamanda yakma sistemi ve çalışma koşullarına da bağlıdır. Sunulan çalışmada, yeni bir kömür yakma sistemi olan döner başlıklı kömür yakma sistemini temsil etmek üzere hazırlanan döner elek sepet içerisinde linyitlerin uçucu madde yanması sırasında oluşan NO_x emisyonu ölçülmüştür. Çalışma sekiz Türkiye linyiti ile gerçekleştirilmiş ve bu linyitlerin proximate ve ultimate analiz verileri de dikkate alınarak sistemde etkili olan azot oksit oluşum mekanizmasının ortaya konulması amaçlanmıştır.

NO_x Oluşumu Mekanizması

Bir yakma sisteminde meydana gelen NO_x miktarını azaltmak için NO_x oluşum mekanizmasının anlaşılması gereklidir. Bu mekanizma oldukça karmaşıktır. Yakma sistemlerinin atmosfere yaydığı azot oksitlerin çoğu NO şeklindedir. Sadece az bir miktarı NO₂ şeklindedir. NO emisyonu aşağıdaki kaynaklardan oluşabilir(Doğu vd.,1991; Thomas,1997; Williams vd.,1994).

- i. Termal NO oluşumu (Zeldovich mekanizması)
- ii. Kendiliğinden oluşan NO
- iii. Yakıttan ileri gelen NO

Termal NO_x oluşumu mekanizması

Termal NO_x oluşumunun ilk olarak Zeldovich tarafından yapılan araştırmalara dayanan mekanizma ile açıklanabileceği kabul edilmiştir.



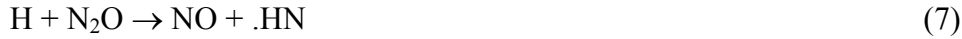
Burada hız sınırlayıcı basamak (1) nolu reaksiyondur. Yüksek aktivasyon enerjisinden dolayı etkin olarak cereyan edebilmesi için yüksek sıcaklıklar gerekmektedir. Bu yüzden bu oluşum mekanizması termal NO_x oluşumu mekanizması olarak ifade edilmektedir. (1) nolu reaksiyonun hız sabiti (cm³.mol⁻¹.s⁻¹) Williams ve diğerleri (1994) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$k_4 = 1.84 \times 10^{14} \exp(-38370 / T) \quad (3)$$

Yakıtça zengin ortamda (hava : yakıt oranı < 1) bu mekanizmaya en azından ilave bir kademe daha eklenmelidir.



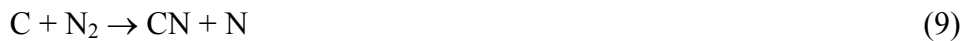
Düşük sıcaklıklarda NO , N₂O ara ürünü üzerinden oluşabilir.



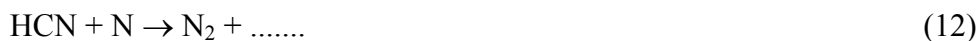
Burada M, üçüncü bir molekülü ifade etmektedir. Pratik yakma sistemleri termodinamik verimi sağlamak üzere yüksek sıcaklıklarda çalışırlar. Bu nedenle bu mekanizma önemsizdir. Ayrıca yakıt azotunun NO_x'a dönüşümü sıcaklığa çok bağlı olmadığı için havadaki azottan oluşan NO_x alev sıcaklığı düşürülerek ve yakma sistemindeki oksijen içeriği azaltılarak minimuma indirilebilir (Thomas,1997).

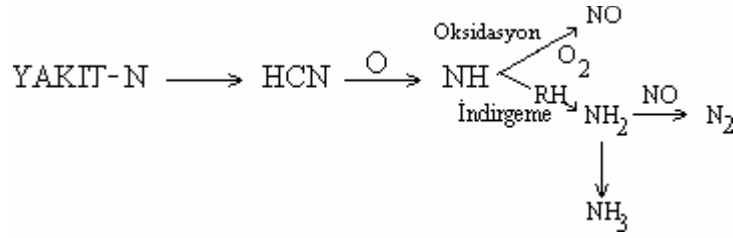
Kendiliğinden NO_x oluşumu mekanizması

Yakıtça zengin alevlerde hidrokarbonların moleküler azot ile çarpışması ve hızlı reaksiyonu ile NO kendiliğinden oluşur. Bu mekanizma reaktörün primer bölgesinde sadece termal NO mekanizması ile hesaplanan hızlardan çok daha büyük oluşum hızlarını açıklamaktadır. Hem hidrokarbonlu hem de hidrokarbonsuz alevlerdeki NO ölçümleri kendiliğinden NO oluşumunun sadece hidrokarbonların bulunduğu ortamda oluştuğunu göstermektedir. Yakıtça zengin sistemlerde oluşan NO miktarının azot konsantrasyonu ve gaz fazındaki karbon sayısına bağlı olduğu gösterilmiştir. Bu yüzden bu mekanizma en fazla yakıtça zengin hidrokarbon alevlerinde önemlidir. Hidrokarbonların parçalanma ürünlerinin yer aldığı reaksiyonlardan önemli olanları aşağıda verilmektedir (Doğu vd.,1991; Williams vd.,1994) .



Burada (9) nolu reaksiyon sonucunda oluşan siyanür daha sonra azot okside oksitlenir. Bu reaksiyon çok az önemli bir reaksiyon olmakla birlikte kendiliğinden azot oksit oluşumunda artan sıcaklıkla öneminin artmasından dolayı ihmal edilemez. Yukarıda oluşan HCN, NO oluşturmak üzere reaksiyona girdiğinde aminler ve siyano gibi bileşikler verir.





Şekil 1. Yakıttaki azotun NO ve N₂ 'a dönüşme mekanizması (Williams vd.,1994).

Yakıttan ileri gelen NO_x oluşumu mekanizması

Azot içeren fosil yakıtların yanması sırasında oluşan azot oksidin en önemli kaynağı yakıttaki azottan ileri gelendir. Bu NO_x, kömür alevindeki NO_x'in %75 ile %95'i kadarını oluşturur. Kömür yakan sistemlerde yakıttan gelen NO_x'in etkin olması için yanmanın yüksek sıcaklıklarda (1500-2000 K) ve kömür alevinin lokal olarak yakıtça zengin ortamda gerçekleşmesi gerekir. Yakıttan NO_x oluşması, termal NO_x oluşumundan daha kolaydır. Çünkü yakıtın bulundurduğu azotlu bileşiklerdeki N-H ve N-C bağları moleküler azottaki üçlü bağdan daha zayıftır (Doğu vd.,1991).

Azot katrandan HCN ve aminlerden de NH₃ olarak salınır. Yakıt azotu HCN'e dönüştükten sonra hızla bozunur. Bu da Şekil 1'deki gibi NO ve N₂ oluşturmak üzere reaksiyona girer.

HCN 'ün oksidasyonunun yakıtça zengin alevlerde oksijen atomlarıyla olan reaksiyonlar olduğu sonucuna varılmıştır ve bu durum oksijen konsantrasyonu düşürülerek yakıt azotunun NO_x dönüşümünü azaltmak için kullanılır (Thomas,1997).

Şekil 1.' deki en önemli reaksiyonun NCO ve NH veren üçlü bağın oksijenin etkisiyle koptuğu reaksiyon olduğu görülmektedir.



N-CO bağının parçalanması sonucu aşağıdaki reaksiyonlarla $\cdot\text{NH}$ ve NH_2 oluştuğu ileri sürülmektedir (Doğu vd.,1991).



MATERYAL VE YÖNTEM

DeneySEL çalışma Şekil 2.'de verilen sistemde gerçekleştirildi. Yakma işlemi 6 cm yüksekliğinde ve 2 cm yarı çaplı paslanmaz çelikten yapılmış elek sepet içinde gerçekleştirildi. Sepetin bir tarafı aynı malzemeden yapılmış kapakla kapatılarak ve diğer tarafı 20 cm uzunluğunda ve 2 mm çapında paslanmaz çelik çubukla bir dişli sistemine ve motora bağlandı. Sepet ve motor sistemi hareketli bir kelepçe yardımıyla bir taşıyıcı levhayla terazi üzerine yerleştirildi. Yakma sistemi ve terazi aynı doğrultuda hareket eden taşıma sistemi üzerine konuldu. Yakma işlem 6.5 cm iç çapında ve 66 cm uzunluğunda yatay bir seramik boru içeren bir fırın içinde gerçekleştirildi. Fırının baca gazının çıkacağı tarafı, ortasına 0.4 cm iç çaplı bir bakır borunun takıldığı saç kapakla kapatıldı. Yakma çalışmaları fırının açık olan tarafında 25 cm' lik bölümünde yapıldı. Vakum pompası ve akış ölçer

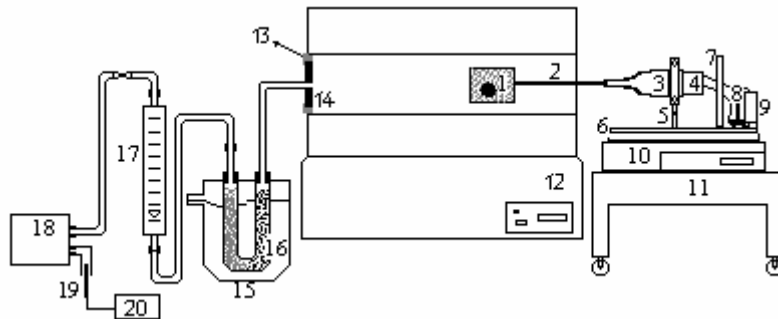
kullanılarak fırın içinden havanın sürekli olarak belli bir hızda geçmesi sağlandı. Fırın kapağına takılan bakır boruyla çekilen baca gazı akış ölçer ve vakum pompasına gitmeden önce katran ve kurumun tutulduğu bir tuzaktan geçirildi.

Çalışmalarda kullanılan linyitler TKİ'nin yardımıyla işletmelerinden temin edildi. 1.0g ağırlığında taneler hazırlandı. Kömürlerin proximate ve ultimate analizleri Tablo 1.'de verilmektedir.

Fırın çalışma sıcaklığına getirildikten sonra daha önceden ağırlığı belirlenmiş olan tane sepeti içine konulup sepetin kapağı kapatıldı. Hazırlanan sepetin belirli bir hızda dönmesi sağlandıktan sonra tekerlekli sistem yardımıyla fırın içine yerleştirildi. Sepet fırın içinde belirlenen konuma geldiği an kronometre çalıştırıldı ve teraziden ağırlık değişimi kaydedildi. Bunun yanında kor haline gelme ve sönme süreleri tespit edildi. Vakum pompasının çıkışına takılan MRU 95/3 CD cihazı ile bütün kömürlerin uçucu madde yanması periyodunda NO ve NO₂ konsantrasyonları kaydedildi.

Tablo 1. Linyitlerin proximate ve ultimate analiz değerleri.

| Kömür | %Nem | %Kül | %Uçucu Madde | %Sabit Karbon | %C | %H | %N | %S | %O |
|------------|-------|-------|--------------|---------------|-------|------|------|------|-------|
| A.Elbistan | 11.95 | 15.23 | 53.90 | 18.69 | 41.90 | 4.14 | 1.84 | 2.69 | 32.41 |
| Çan | 13.05 | 5.81 | 47.33 | 33.64 | 59.52 | 4.53 | 1.75 | 2.59 | 24.96 |
| Çayırhan | 8.59 | 7.75 | 53.55 | 29.76 | 55.72 | 4.63 | 2.02 | 2.64 | 26.2 |
| Göynük | 13.63 | 7.42 | 49.97 | 32.78 | 53.87 | 4.70 | 2.25 | 2.25 | 28.54 |
| Kangal | 12.84 | 14.3 | 55.00 | 17.74 | 42.65 | 4.48 | 1.82 | 5.40 | 29.38 |
| Seyitömer | 12.70 | 6.9 | 55.61 | 24.77 | 51.03 | 5.03 | 2.24 | 2.38 | 31.50 |
| Soma | 8.5 | 1.81 | 49.9 | 39.75 | 64.42 | 4.48 | 1.45 | 2.22 | 24.94 |
| Yatağan | 11.36 | 11.00 | 59.00 | 18.63 | 45.67 | 4.60 | 1.45 | 3.04 | 32.83 |



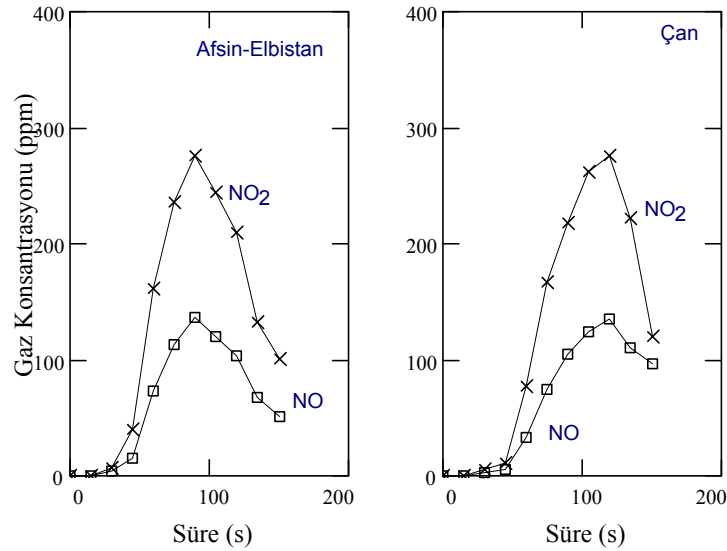
Şekil 2. Deney Düzeneği: 1, Sepet; 2, taşıyıcı çubuk; 3, dişli sistemi; 4, motor; 5, kelepçe; 6, taşıyıcı levha; 7, ayna; 8, potansiyometre; 9, batarya; 10, terazi; 11, taşıyıcı sistemi; 12, fırın; 13, kuvarz yünü; 14, saç kapak; 15, soğutma kabı; 16, U borusu; 17, akış ölçer; 18, vakum pompası; 19, gaz analiz probu; 20, gaz analiz cihazı.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

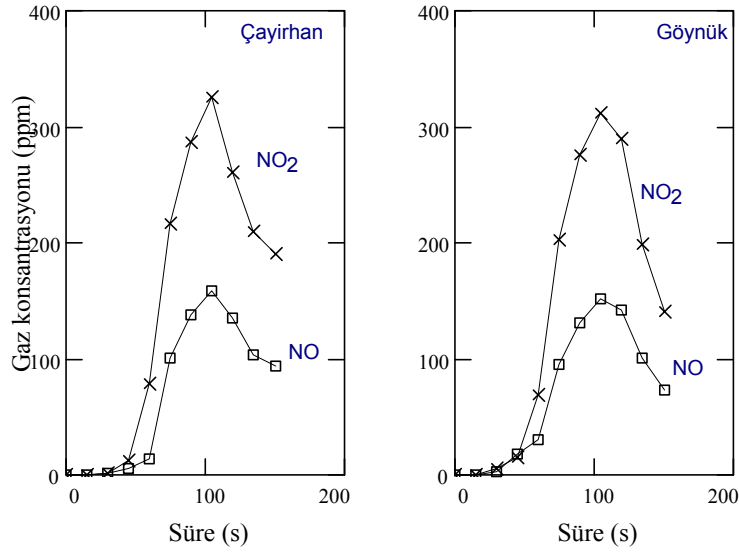
Şekil 3,4,5 ve 6'da sekiz Türkiye linyitinin uçucu madde yanması esnasında NO ve NO₂ konsantrasyonlarının zamanla değişimi verilmektedir. Grafiklerdeki değerler %7 O₂ referans alınarak belirlenmiştir.

Çalışılan linyitlerin hepsinin benzer şekilde davrandıkları görülmektedir. Kömür yakma sistemine girdikten kısa bir süre sonra NO ve NO₂ konsantrasyonları belirgin değerlere ulaşmış, alev olduğu bölgede miktarları artmış ve alev kaybolduktan sonra ise tekrar azalmış oldukları görülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda da yüksek alev sıcaklıklarında NO_x oluşumunun arttığı belirtilmiştir (van der Lans,1998). Şekiller incelendiğinde NO₂ konsantrasyonu NO'ye göre yüksektir. Bugüne kadar yapılan çalışmaların sonuçları dikkate alındığında esas bileşen olarak NO olmak üzere çok az NO₂ olması beklenir. Burada gözlenen aykırı durumun nedeni olarak alev bölgesinden ayrılan, NO₂'in fırında kalma süresinin kısa olması ve yanma gazı içerisindeki oksijen konsantrasyonunun gerçek yakma sistemlerine göre yüksek olması verilebilir.

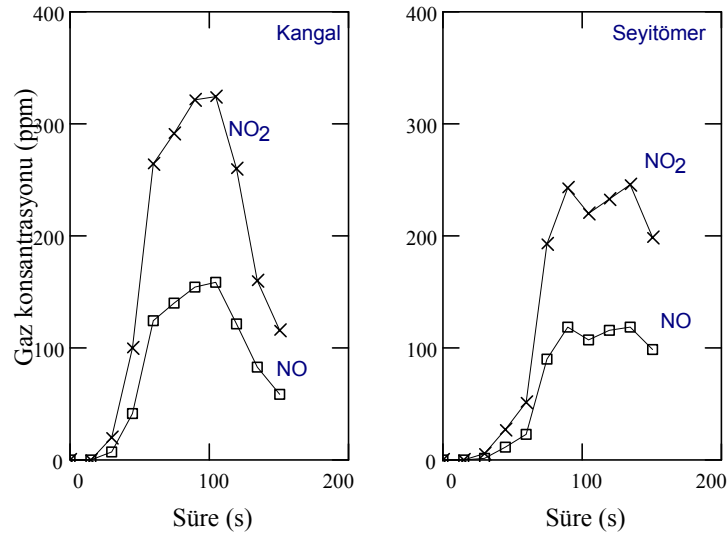
Alev görünme periyodunda NO₂ konsantrasyonunda belirgin bir artış, fakat alevin söndüğü zaman aralığında hızlı bir düşüş dikkati çekmektedir. Linyitlerden ayrılan uçucu madde miktarının azalmasına bağlı olarak NO de aynı davranışı göstermektedir. Bu durum NO_x oluşumunda yakıt azotunun etkisini gösterir. Benzer durum literatürde belirtilmektedir. Kömür yakma sistemine girdiğinde ilk olarak NO oluşur. NO₂ ise alev bölgesi civarında yüksek konsantrasyonda oluşur. Çok reaktif olan bu bileşik alev bölgesinden uzaklaştıkça konsantrasyonu hızla düşer (Doğu,1991;Thomas,1997). Sistemde oluşan baca gazı alev bölgesinden hızla çekildiği için NO₂ 'nin miktarı alevin azaldığı ve sıcaklığın düşmeye başladığı andan itibaren hızla düşmektedir. Çünkü çalışılan sistemde yanma gazı ortamdan vakumla çekilmekte ve alev bölgesinden ayrıldıktan sonra soğuk değil sıcak bir ortamdan geçerek hızla analiz probuna ulaşmaktadır.



Şekil 3. Afsin-Elbistan ve Çan linyitlerinin uçucu madde yanması sırasında NO ve NO₂ konsantrasyonlarının zamanla değişimi.

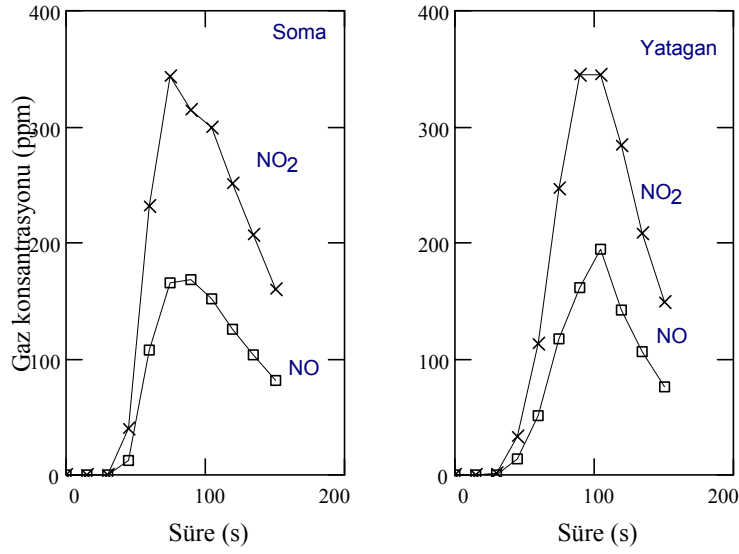


Şekil 4. Çayırhan ve Göynük linyitlerinin uçucu madde yanması sırasında NO ve NO₂ konsantrasyonlarının zamanla değişimi.



Şekil 5. Kangal ve Seyitömer linyitlerinin uçucu madde yanması sırasında NO ve NO₂ konsantrasyonlarının zamanla değişimi.

Yakıt azotunun yanma esnasında sıcaklığa bağlı olarak uçucu madde ve char azotu olarak ayrıldığı daha önce belirtilmiştir (Thomas,1997). Ayrıca uçucu madde oranı düştükçe uçucu madde ile birlikte ayrılan NO_x oranının da düştüğü bilinmektedir (Zhao,1994; van der Lans,1998). Grafikler tek tek ele alındığında uçucu madde oranı diğer linyitlerden fazla olan Yatağan linyiti yüksek NO_x emisyonu verirken, en az uçucu madde oranına sahip olan Soma ve Çan linyitlerinin daha düşük NO_x emisyonu verdiği tesbit edilmiştir. Bu durumda NO_x emisyonunun uçucu madde içeriği ile orantılı olduğunu söyleyebiliriz



Şekil 6. Soma ve Yatağan linyitlerinin uçucu madde yanması sırasında NO ve NO₂ konsantrasyonlarının zamanla değişimi.

Tablo 2. Linyitlerin uçucu madde yanma sürelerinin kömür cinsiyle değişimi.

| Kömür | Uçucu madde yanma süresi (s) |
|------------|------------------------------|
| A.Elbistan | 121 |
| Çan | 97 |
| Çayırhan | 67.5 |
| Göynük | 107.5 |
| Kangal | 84.5 |
| Seyitömer | 94.5 |
| Soma | 75.25 |
| Yatağan | 82.67 |

Çalışılan linyitlerin azot yüzdelerine bakıldığında en yüksek azot oranları Göynük ve Seyitömer linyitlerinde görülmektedir. Bu durumda NO_x emisyonunun bu linyitlerde daha fazla olması beklenmektedir, fakat bu linyitler daha düşük NO_x emisyonu vermişlerdir. Birbirleriyle aynı özellikler gösteren kömürlerin yanma esnasında hem azot içeriği değişebilir hem de NO_x emisyonları değişebilir (Thomas,1997). Burada da aynı durum görülmektedir. Azot yüzdeleri birbirine yakın olan linyitlerin benzer şekilde davranmayıp farklı NO_x emisyonları vermişlerdir..Ultimate analiz verilerine bakıldığında Soma ve Yatağan linyitlerinin azot yüzdelerinin aynı olduğu görülür, fakat Yatağan linyiti yüksek NO_x emisyonunu verirken Soma linyiti daha düşük NO_x emisyonunu vermiştir. Diğer taraftan uçucu madde ve char yanması esnasında benzer davranışlar gösteren Çan ve Çayırhan linyitleri incelendiğinde azot yüzdesi ve uçucu madde oranı daha yüksek olan Çayırhan linyitinin NO_x emisyonunun daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sistemde yakıt azotunun

önemli bir bölümünün uçucu madde salınması periyodunda NO_x oluşturduğunu söyleyebiliriz. Tablo 2’de görüldüğü gibi uçucu madde salınma süresi de uçucu madde içeriğine bağlı değildir. Çünkü uçucu madde ayrılma mekanizması üzerinde yüzey alanı, gözeneklilik gibi faktörlerin etkisi de önemlidir. Dolayısıyla NO_x oluşum mekanizmasını da etkilediği belirtilebilir. Uçucu madde yanması esnasında NO_x oluşumuna yakıttan ileri gelen azot oksitlerinin yanında, alev bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı hava azotunun NO’e yükseltgenmesinin de (Termal NO_x) katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak Uçucu madde yanması esnasında oluşan NO_x emisyonunun , yakıttan ve termal NO_x oluşum mekanizmalarından ileri geldiğini söyleyebiliriz.

SONUÇ

- NO_x emisyonunun uçucu madde içeriği ile orantılı olduğunu belirlenmiştir.
- Birbirleriyle aynı özellikler gösteren kömürlerin yanma esnasında hem azot içeriğinin hem de NO_x emisyonları değişebileceği belirlenmiştir. Azot yüzdeleri birbirine yakın olan linyitler benzer şekilde davranmayıp farklı NO_x emisyonları vermişlerdir. Dolayısıyla uçucu madde ayrılma mekanizması üzerinde etkili olan yüzey alanı, gözeneklilik gibi faktörlerin NO_x oluşum mekanizmasını da etkilediği belirtilebilir.
- Uçucu madde yanması esnasında oluşan NO_x emisyonunun , yakıttan ve termal NO_x oluşum mekanizmalarından ileri geldiği söylenebilir.

ÖNERİLER

Son zamanlarda süper düşük NO_x emisyonu (30 ppm’in altında) verecek yakma koşullarının belirlemesi üzerinde araştırmalar sürdürülmektedir (Aoki vd., 2001). Bu çalışmada NO_x emisyonunun çoğunlukla uçucu madde salınması ve yanması periyodunda olduğu belirlenmiştir. İleri aşamalarda, bu emisyon miktarının azaltılması için izlenecek yöntemin belirlenmesi ve uygulanması yönünde çalışmaların sürdürülmesi gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Aoki,H., Suzuki,A., Hisaeda,Y., SuWa,Y., Nakagawa,T., Yaga,M., Shoji,M., Miura,T.,Recent Research and Development of Combustion Simulation, *Heat Trasfer- Asian Research*,30(7), 581 – 610, 2001

Doğu,G., Uysal,B.Z., Çulfaz,M., Yanma ve hava kirliliği kontrolü.,*Yanma kökenli SO_x ve NO_x gazlarının birincil ve ikincil kontrol yöntemleri ve birlikte giderme teknolojileri, I. Ulusal Sempozyumu*, Gazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak., 262-269, Ankara,1991.

Gauld,D.W.,Pragnel,R.J.,Combustion Parameters Affecting NO_x Emission in Atmospheric Fluidized Bed Combustion.1-23,1985.

Kurose,R., Tsuji,H., Makino,H., Effect of in coal on pulverized coal combustion charesteristic, *Fuel*, 80,1457-1465,2000.

Malık,A.A, A Study of Coal Combustion Using a Rotating Retort, *Ph. D. Thesis*, The Universty of Newcastle ,U.K,1991.

Taşdemiroğlu, E., Air Pollutant Emissions Due to Energy utilization in Turkey, *Energy*, 17, 95-97, 1992.

Thomas, K.M., The release of nitrogen oxides during char combustion, *Fuel*, 76, 457-473, 1997.

van der Lans, R.P., Glarborg, P., Dam-Johansen, K., Knudsen, P., Hesselman, G., Hepburn, P., Influence of Coal Quality on Combustion, Performance, *Fuel*, 77, 1317-1328., 1998

Williams, A., Pourkashanian, M., Bysh, P., Norman, J., Modelling of coal combustion in low-NO_x p.f. flames, *Fuel*, 73, 1006-1019, 1994.

Zhao, J., Grace, J.R., Lim, C.J., Brereton, C.M.H. and Legros, R.. Influence of Operating Parameters on NO_x Emission From a Circulating Fluidized Bed Combustor, *Fuel*, 73, 1650-1657, 1994.