

KÖMÜRLERİN YANMASI ESNASINDA HAVA KİRLİLİĞİNE YOL AÇAN BACA GAZLARINDAKİ SO. EMİSYONUNUN KONTROLÜ

Tülay ESKİKAYA(*)

ÖZET

Hızlı sanayileşmenin insanlığa sunduğu sayısız nimetlerin yamsıra. beraberinde getirdiği en önemli sorunların başında "çevre kirlenmesi" gelmektedir. "Deniz ürünleri, tarım ve hayvancılık" açısından büyük boyutlara ulaşan bu sorun, insan sağlığı söz konusu olduğunda "hayati" bir nitelik kazanmaktadır. Endüstrileşmiş ülkeler konunun üzerine, özellikle son çeyrek yüzyıldan beri giderek artan bir dikkatle eğilirlerken, ülkemizde de sanayileşmenin gelişmesi ve yaşam düzeyinin artması sonucu bu husus hergün biraz daha fazla güncel hale gelmektedir. Konunun insan sağlığı açısından önemi, gerek ısınma gerekse sanayide kullanılacak üzere ağırlık petrolenden kömüre doğru kaydırıldıkça, kömürün yanması sonucu havaya verilen kükürt azot gazlarının "hava kirliliği" denilen olaya yol açmasından kaynaklanmaktadır. Tebliğde, özellikle yüksek kükürtlü kömürlerin yanması esnasında insan sağlığı için zararlı gazların meydana gelişini anlatılmakta, miktarları ve baca gazlarındaki nispetlerinin ölçülmesi ile bu gazların oluşması veya kontrol altına alınması için başvurulacak yollar ve kullanılan sistemler İngiltere'de yapılan araştırmadan alınan sonuçlarla birlikte detaylı olarak işlenmektedir.

SUMMARY

The rapid industrialization results a high level of living standard in one side, has brought serious problems, namely "Environment Problems" on the other side. This problem has attracted alot of interests in the developed countries and during the last 20 — 25 years. quite many researchs fiave been made on this subje. In our country too, a visible growing interest is being started and some remarks have been focussed on it especially as a result of gradual change in the energy consumption, from fuel oil to coal.

In this paper, occurrences of SO_n and No_x gases, their emissions and methods of control are being discussed, concerning recent situation and developments on the related technology.

(*) Doç. Dr. öğretim Üyesi İTÜ Kimya Fakültesi, İSTANBUL

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların elektrik elde etmek için santrallerde yakılması sırasında baca gazları ile havaya verilen kükürt oksitleri (SO_x) ve azot oksitleri (NO_x) kontrolü, üzerinde çok çalışılan ve ilgi duyulan bir konudur.

Bataklıklar H_2S şeklinde atmosfere verdikleri gazla kükürtün doğal kaynağını oluştururlar. 1967'deki saptarmalara göre atmosfere yılda 146 milyon ton SO_2 gazı verilmektedir. Burada en büyük pay 102 milyon ton ya da % 70 ile kömürün yakılmasına aittir. Petrolün yanması sonucu oluşan SO_2 , 22,8 milyon ton olup, toplam içinde % 15,6'lık bir kısım oluşturmaktadır. Petrolün rafinerisi sırasında 5.7 milyon ton (%3.7) ve bakır, kurşun, çinko izabesi sırasında ise 15.7 milyon ton (% 10.7) SO_2 oluşmaktadır. Çizelge 1'de atmosfere çeşitli kaynaklardan bir yılda verilen SO_2 miktarları görülmektedir. (1).

Çizelge 1— Dünyada 1 Yılda Atmosfere Yayılan SO_2 Miktarının Dağılımı

SO2 kaynağı	Çıkan SO2 miktarı		Milyon ton/yıl	%
	Milyon ton/yıl	%		
Kömür yanması	102	70	102	70
Petrol yanması	Gazolin Kerozen Damıtma Artık	0.3 0.2 2.0 20.3	0.20 0.14 1.38 13.85	22,8 15.60
Petrol rafinerisi	5.7	3,70	5.70	3.70
İzabe	Bakır Çinko Kurşun	12.9 1.3 1.5	8.80 0.88 1.02	15.70 10.70
Toplam	146.2	100.00	146.20	100.00

Topraktaki biyolojik olaylar sonucu oluşarak atmosfere verilen azot bileşikleri ise N_2O halindedir. Doğal kaynaklardan yükseltgen koşullar altında bakteri etkisi ile önemli miktarda NO meydana gelir. Bu şekilde doğal yolla oluşan NO gazının miktarı 501 milyon ton ve insanlar tarafından atmosfere çeşitli işlemler nedeniyle verilen NO gazı 52.9 milyon tondur.

Atmosferdeki toplam NO_x (NO+NO²) miktarı içinde insanlar tarafından yapılan Kava kirliliğinin payı % 10 kadardır. Çizelge.2'de bir yılda atmosfere yayılan NO_x miktarının çeşitli kaynaklara göre dağılımı verilmiştir (1).

Çizelge 2 - Atmosfere 1 Yılda Yayılan NO_x Miktarının Dağılımı.

Yakıt	Kaynak	NO _x emisyonu		Milyon ton/yıl	%
		Milyon ton/yıl	%		
Kömür	Santral	12.2	23.06	26.90	50.84
	Endüstriyel	13.7	25.89		
	Ticari	1.0	1.89		
Petrol	Rafineri	0.7	1.32	22.30	42.14
	Gazolin	7.5	14.17		
	Kerozen	1.3	2.46		
	Fuel—oil	3.6	6,80		
	Artıklar	9.2	17.39		
Doğal gaz	Santral	0.6	1.13	2.10	4.01
	Endüstriyel	1.1	2.08		
	Ticari	0.4	0.80		
Diğer	* Yakma	0.5	0.90	1.60	3.01
	Ağaç	0,3	0.60		
	Orman yangını	m	1.51		
Toplam		52.90	100.00	52.90	100.00

Son çalışmalar A.B.D.'de havada bulunan SO_x'in yaklaşık % 46'sının ve havadaki NO_x'in % 18'inin elektrik santralından kaynaklandığını göstermektedir. Fosil yakıt yakan güç santral larından havaya verilen SO_x ve NO_x miktarlarını kontrol edebilmek ve azaltabilmek için 4 genel yöntem üzerinde çalışılmaktadır.

- 1— Yakıtın kükürt ve azottan arındırılması
- 2— Baca gazları içindeki SO_x ve NO_x'in tutulması
- 3— Yanmanın modifikasyonu
- 4— Yeni Yanma prosesleri

İlk üç yöntemde SO_x ve NO_x emisyonunun azaltılması üzerinde uzun süredir çalışılan ve ticari olarak uygulanan yöntemlerdir. Bu bildirinin asıl konusu ise yeni yanma prosesi "Akışkan yatakta yanma" ile hava kirliliğinin azaltılması yöntemidir.

2 - YENİ YANMA PROSESLERİ ÜZERİNDE ÇALIŞMALAR

2.1 Akışkan Yatak

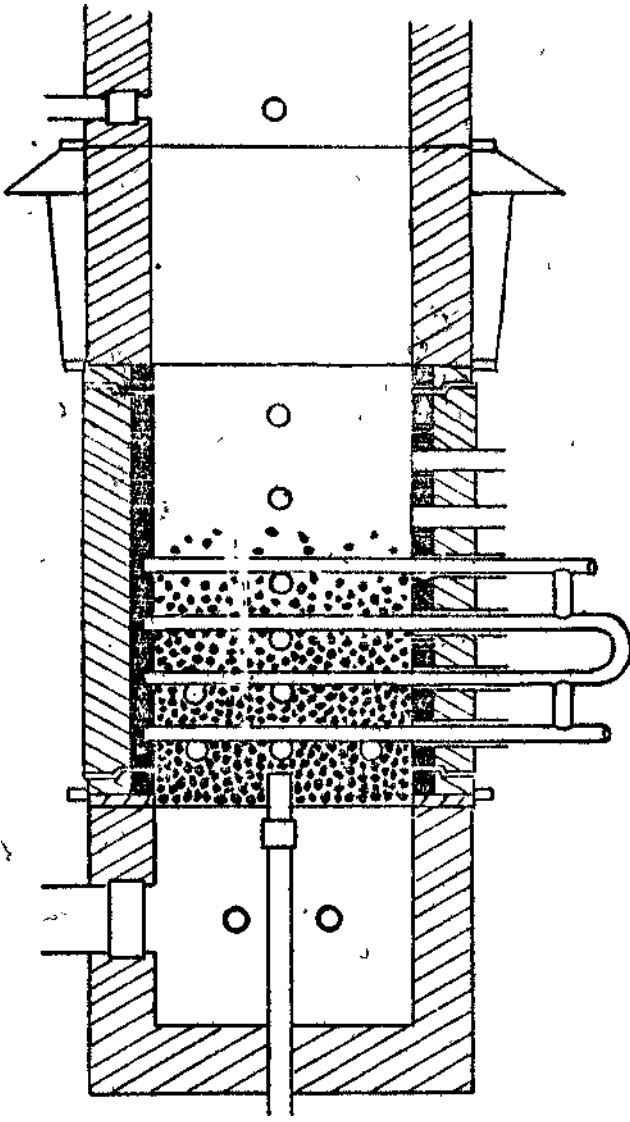
Yanma teknolojisindeki en büyük aşama akışkan yatakta yanmadır. İnce taneli katı parçacıklarından oluşan bV yatağa, aşağıdan yukarıya doğru düşük hızlı bir hava (ya da herhangi bir gaz) akımı verildiğinde, bu hava, parçacıkların arasından geçerek, onları rahatsız etmeden yukarı çıkar. İ lava hızı devamlı olarak artırılacak olursa, öyle bir an gelir ki, parçacıkların bir kısmı yukarıya doğru harekete zorlanır ve akım içinde asılı duruma geçer. Yatak içindeki basınç düşüşünün yatağın birim yüzeye düşen ağırlığına eşit olduğu bu ana "yatağın akışkan hale gelme anı", bu andaki hava hızına da "kritik akışkanlık hızı" denilmektedir. Hız, bu kritik değerin üzerine çıkacak şekilde artırılırsa, önemli değişimler meydana gelir: Yatak daha fazla akışa olanak verecek şekilde kabarrır. Verileri fazla havanın büyük bir kısmı yatak arasından kabarcıklar halinde geçer. Akış hızı, kritik hızın 3 ile 5 katı arasında bir değere ulaştığında sistem, parçacıkların çabucak birbirine karıştığı yüksek bir turbulent nitelik kazanır. Bu durum ile yatak, şiddetle kaynayan bir sıvı görünümündedir. "Akışkan yatak" ismi verilen böyle bir yatak, bir sıvının birçok özelliklerini taşımaktadır. Şekil 1'de akışkan yatak prensibi görülmektedir. Kabarcıklar tabanda küçüktürler, yüzeye doğru yükseldikçe büyürler, yukarı yükselirken katıları da beraberinde sürüklerler. Dolayısıyla hava kabarcıkları, katıların taşınmasında önemli bir rol oynamaktadırlar. Kabarcıklar yatak yüzeyine çıktıkları zaman patlarlar. Taşıdıkları katıparçacıkları etrafa saçılır ve çok büyük bir kısmı yeniden yüzeye geri döner. "Gaz fazı" ve "katı fazı" olmak üzere, iki fazlı bir ortama sahip böyle bir sistemde, hem hava ile katı arasında ve hem de bizzat katı parçacıkları arasında çok iyi bir temas olanağı vardır.

50 yıl kadar önce Almanya'da kullanılan "Wingler Gazlaştırma Prosesi" akışkan yanma prensibinin ilk uygulaması olarak kabul edilmektedir. Bugünkü, anlamı ile akışkan yanma tekniğinin geliştirilmesi ise, son 30 yıllık çalışmaların ürünüdür. Bu sıra boyunca Avrupa'da ki önemli kömür üretici ülkelerde, A.B.D.'de ve Japonya'da akışkan yatak prensibi ile ilgili birçok yanma yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak, bu yöntemlerin pek çoğunda ana amacın "düşük ısı değerli toz kömürleri yakmak ve bu suretle norml pulverize yakıtın getirdiği ağır öğütme masraflarından kurtulmak" olduğu görülmektedir.

Daha sonraki uygulamalarda ise, akışkan yatağın en büyük niteliği olan "iyi ısı iletim" özelliğinden yararlanılmıştır. Akışkan yanma sisteminin kendi gelişmesini hızlandıran ve pulverize yanma sistemine üstün olan tarafları şöyle özetlenebilir:

- 1- Akışkan yataktaki daha iyi ısı iletimi nedeni ile boru masrafının azalması,
- 2- Buhar boruları üzerindeki korozyonun daha az oluşu,
- 3- Kömür öğütme masrafının azalması, <
- 4- Yüksek kül içerikli düşük kaliteli kömürlerin kullanılması olanağı,
- 5- Basınçlı akışkan yanma sistemlerinde yanma gazlarının bir gaz türbinine gönderilmesi ile verimin artırılması ve sistemin boyutunun küçültülmesi'dir.

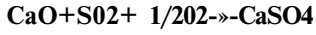
Son on yıldan beri ise, yukarıdakilere ek olarak, akışkan yanmanın önemli bir diğer üstünlüğü tanımlanmıştır. Bu özellik, SC^'inin neden olduğu hava kirliliğinin akışkan yataktaki yanmada kolayca ve etkili bir şekilde kontrol edilebilmesidir. Baca gazlarındaki SO_x içinde SO₃ miktarı % 0 - 7 arasında değiştiğinden esas kükürt oksidi olarak SO₂ alınmaktadır.



Şekil: 1 — Akışkan yatak prensibi.

2.2. Akışkan Yatakta Kükürt Tutulması /

Yatağa verilen yakıtta katılan kireç taşı ya da dolomit ile yakıtın içindeki kükürtün yanması ile oluşan SO^{\wedge} 'nin çok büyük kısmı $CaSO^{\wedge}$ haline gelmekte ve havaya baca gazlarıyla verilmeden yakıcı tutulabilmektedir. Bu $CaSO_4$ halinde tutulma işlemi, kireç taşı ya da dolomit eklenmesiyle olabildiği gibi kömür külünün içinde doğal olarak bulunan $CaCO_3$ ile de olabilir. Yatakta, kireç taşı ya da dolomit kalsine olmakta ve oluşan CaO , baca gazındaki SO_2 ile oksitleyici koşullarda $CaSC^{\wedge}$ 'a dönüşürek aşağıda denklemlerle görülen reaksiyonlara göre yakat içinde kalmaktadır.

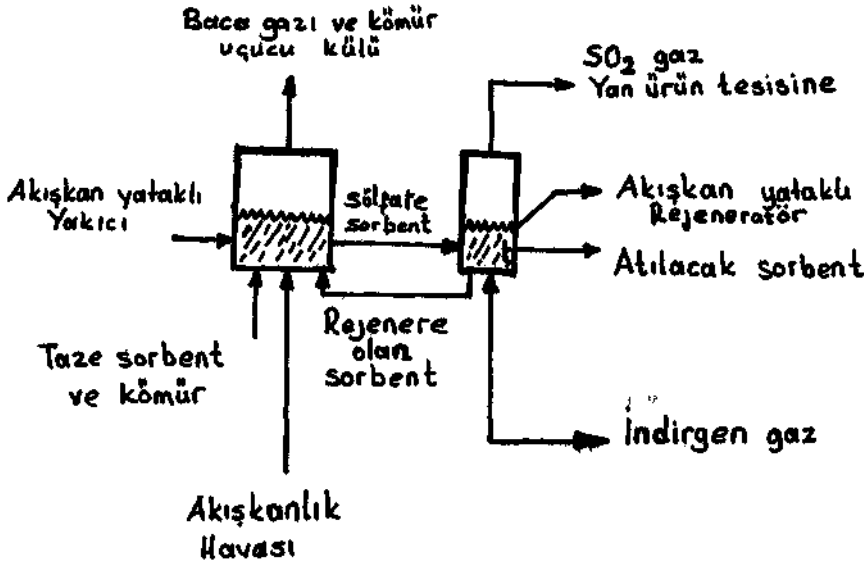


Baca gazındaki SO_2 'nin % 90 ya da daha fazlasının tutulması isteniyorsa, akışkan yataklı kazanan beslenen kireç taşı besleme hızının yüksek olması gerekmektedir. Yüksek kireç taşı besleme hızı nedeniyle oluşan fazla miktardaki katı artığın yok edilmesi problemini çözmek için "Esso Research" tarafından CaSO_4 'ün yüksek sıcaklıkta indirgen gaz ile tekrar CaO 'e dönüştürüldüğü bir sistem geliştirilmiştir. (2).

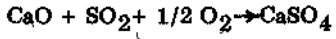
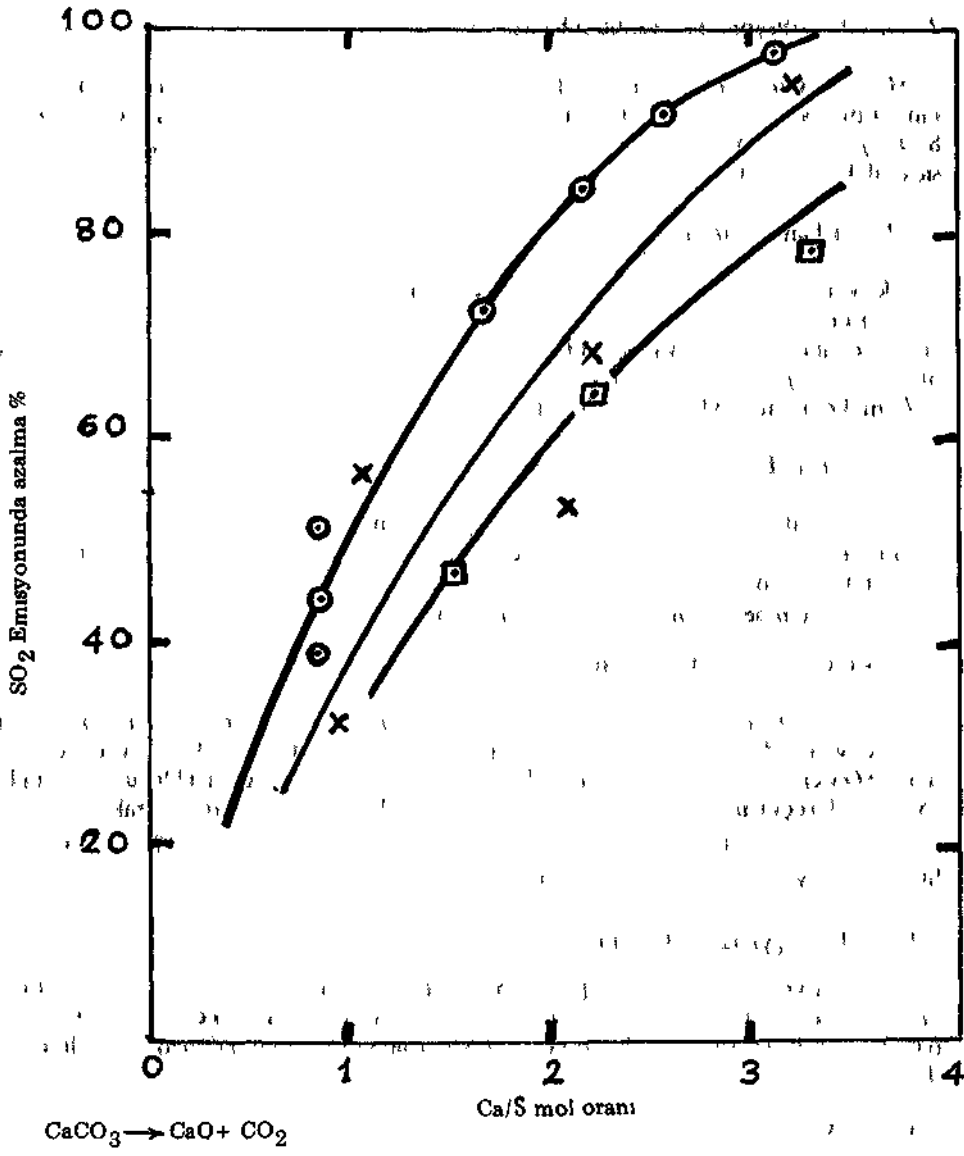
Şekil 2'de görüldüğü gibi, CaO bir sistemde, rejenere edilerek kullanılabilir ve bu şekilde kireç taşı besleme hızı oldukça azaltılmaktadır. % 10 kül ve % 4,5 S içeren bir kömür örneğinin yakılmasında, 0.5'lik taze Ca/S besleme hızı ile % 90'ın üzerinde SO_2 'nin tutulduğu bulunmuştur ve katı artığın miktarı ise, ancak uçucu kül ağırlığının % 50'si kadar artmıştır. Bu miktarda bir artığın ise, hem ekonomik ve hem de ekolojik olarak yarattığı sorunlar çok değildir.

2.3. Akışkan Yatakta SO_2 Emisyonuna Etki Eden Faktörler

Kömürün akışkan yatakta yanması sırasında SO_2 emisyonuna çeşitli faktörlerin etkisi araştırmacılar tarafından incelenmiştir (3). ve SO_2 emisyonunun Şekil 3'te görüldüğü gibi yatağın Ca/S mol oranı arttıkça, azaldığı bulunmuştur.



Şekil' 2 Akışkan yataklı yakıcı — Sorbent Rejenerasyon sistemi



Akışkanlık hızı : 3 ft/Sn
 Yatak yüksekliği : 2 ft
 Yatak Sıcaklığı : 1470 °F
 Sirkülasyon yok

Kireçtaşı 18 : ○
 Kireçtaşı U.K. : +
 Kireçtaşı 1359 : □

Şekil. 3 Kireçtaşı ile SO₂ Emisyonunun azalması

2.3.1. SC₂ Emisyonuna Sıcaklığın Etkisi

SO₂ emisyonuna yanma sıcaklığının etkisi Şekil 4,5,6,7'de görülmektedir. SO₂ nin tutulması yönünden aditif olarak kullanılan kireçtaşı için 1500 - 1750°F (825 - 850°C) ve dolomit için ise 1400 - 1500°F (750 - 825°C) arasında olan bir optimum sıcaklık bulunmuştur.

2.3.2. Akışkanlık Hızının Etkisi

Akışkanlık hızının artırılması SO₂ emisyonunu arttırmaktadır. Bu artışa neden olan en önemli faktörler, gazın yatakta kalış zamanının azalması, gazın yataktan kabarcıklar şeklinde çıkması, gaz - solid ve solidlerin temas süresinin azalmasıdır. Akışkanlık hızının 0.6 m/s'den 2.4 m/s'ye çıkması sonunda, SO₂ emisyonunun aynı kalabilmesi için Ca/S mol oranını, yaklaşık 2 misli arttırmak gerekmektedir.

2.3.3. Basıncın Etkisi

Dolomit aditif olarak kullanıldığı zaman, basıncın artırılması ile SO₂ emisyonundaki azalma ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Kireçtaşı aditif olursa, 5 atmosfer basınçta SO₂ emisyonu hem atmosfer basıncında kireçtaşı kullanılan bir sistemden ve hem de, dolomitli sistemden önemli ölçüde daha fazladır.

2.3.4. Aditif Tane Büyüklüğünün Etkisi

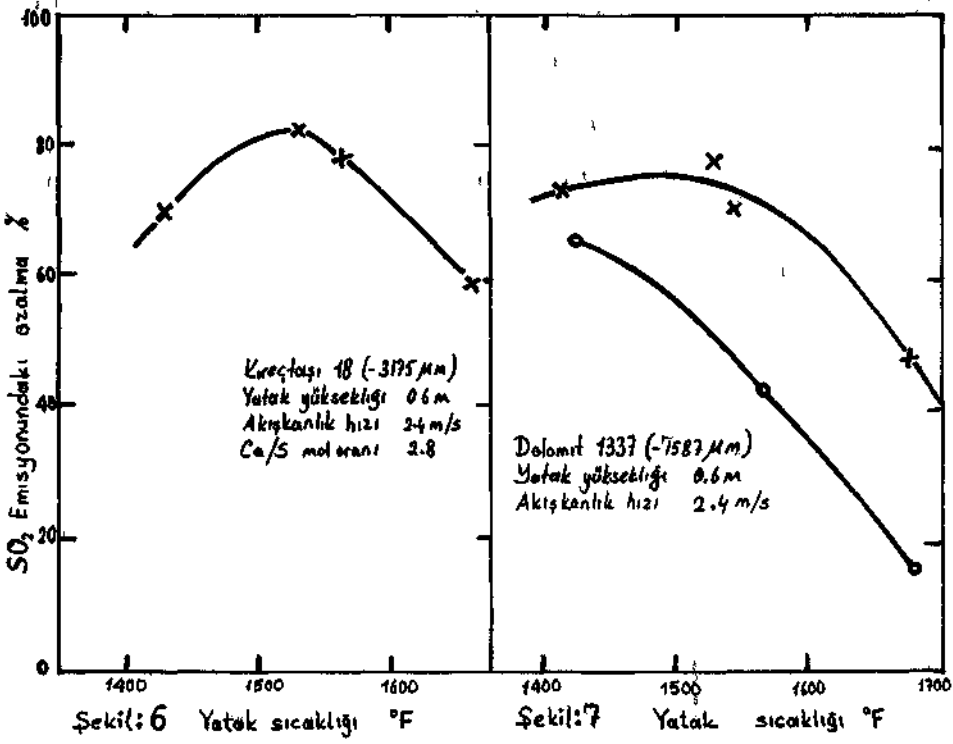
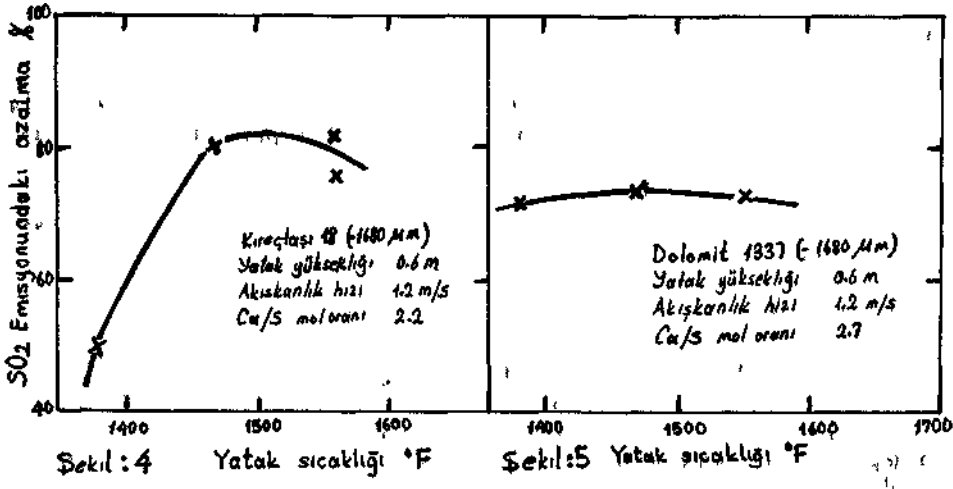
Dolomit kullanıldığında aditifin tane büyüklüğü SO₂ emisyonu üzerine herhangi bir etki yapmadığı halde, kireçtaşının tane büyüklüğünün 0.32 cm'den 0.16 cm'e azalması, SO₂ emisyonunda % 15 bir azalmaya neden olurken, tane büyüklüğü — 150 mikron olan kireçtaşının SO₂ emisyonuna etkisi akışkanlık hızına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Akışkanlık hızı 0.9 m/s olduğu zaman SO₂ emisyonu % 20 azalırken, hız 2.4 m/s'ye çıkarsa SO₂ emisyonu % 15 kadar artmaktadır.

2.3.5. Aditif Kaynağı ve Tipinin Etkisi

SO₂ emisyonuna aditif kaynağı ve tipi de etki etmekte olup Şekil 4,5,6,7'de kireçtaşı veya dolomitin SO₂ emisyonu üzerine etkilerinin nasıl farklı oldukları görülmektedir. Bu fark kalsinasyonda oluşan gözenek strüktüründeki farklılıklardan ileri gelmektedir.

2.4. NO_x Emisyonu

Kömür yakan güç santrallerinde SO₂ emisyonu akışkan yanma tekniğinin uygulanmasıyla etkili bir şekilde kontrol edilebilirken, azot oksitlerinin emisyonu hava kirliliği yönünden sorun yaratmaktadır. Azot oksitleri, NO ve NO₂, (NO_x) yanma süreci sırasında yakıt içinde bulunan azotun oksidasyonu ile oluşmaktadır. Yapılan Çalışmalarda akışkan yataktaki yanma sırasında NO'nun, yatağın akışkanlık havası girişine yakın oksijen konsantrasyonu daha fazla olan bölgede oluştuğu ve yatak içindeki NO konsantrasyonunun, baca gazının çıkış yüzeyindeki konsantrasyonundan yaklaşık iki katı fazla olduğu ve yatak üzerindeki bölgede NO'nun kimyasal olarak indirgenmediği bulunmuştur. (4). Yatak üzerindeki bölgede NO'nun indirgenmesi reaksiyonları aşağıdaki denklemlerle gösterilebilir:



Şekil (4,5,6,7)— Yatak sıcaklığının SO₂ emisyonu üzerine etkisi

Bozunma reaksiyonu : $2NO \rightarrow N_2 + O_2$

İndirgenme reaksiyonu : $NO + x \rightarrow N_2O$

İndirgenme reaksiyonu : $NO + kömür \rightarrow N_2 + ürünler$

Burada x; CO, H₂, hidrokarbonlar ve azotlu ara ürünler olabilir. Ayrıca NO emisyonu 650 - 850°C arasındaki yatak sıcaklıklarında yaklaşık 2,6 ppm/°C'lık bir hızla artmaktadır.

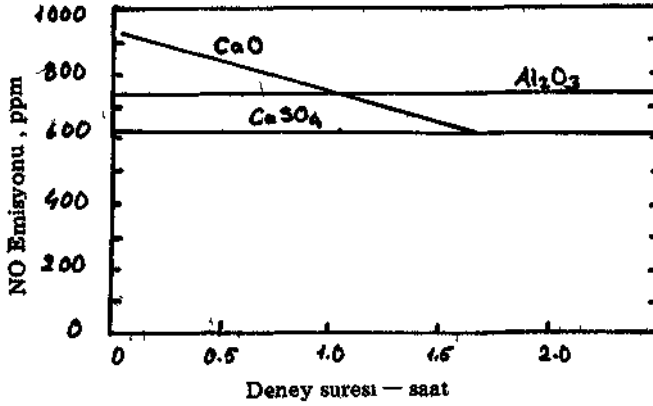
Akışkan yatakta yanmadaki NO emisyonu, pulverize sistemde yanmadaki ile karşılaştırıldığında hava/yakıt giriş oranına çok az bağlı olduğu bulunmuştur.

2.4.1. Yatağı Oluşturan Materyalin NO Emisyonuna Etkisi

Yatak materyali olarak üç farklı madde (CaSO₄, Kireç ve saf Al₂O₃) kullanıldığında elde edilen sonuçlar Şekil 8'de görülmektedir (5), NO emisyonu, CaSO₄ yatak materyali olduğu zaman en azdır. Al₂O₃ yatak ile NO emisyonu daha yüksek olmakla birlikte deney boyunca sabittir. Kireç yatak ile NO emisyonu ise başlangıçta en fazla olmakla birlikte, deneme süresi arttıkça CaSO₄ yatak ile elde edilen değere kadar düşmektedir. NO emisyonundaki azalmaya, deneme süresi arttıkça kireç yatak içindeki CaSO₄ konsantrasyonunun gittikçe artması ve CaSO₄'ün, NO'nin bozunmasında katalizör olarak etki edebilme olasılığı neden gösterilebilir.

2.4.2. NO Emisyonuna Yatak Sıcaklığının Etkisi

Gerek CaSO₄ ve gerekse Al₂O₃ yatak materyali olarak kullanıldığında, yatak sıcaklığının 750 - 900°C arasında artması ile NO emisyonu artmaktadır. Yalnız Al₂O₃ yatak ile NO emisyonu, CaSO₄ yataktakinden daha fazladır. Bu sonuçta CaSO₄ yatakta NO'nin bozunduğunu göstermektedir.



Şekil :8 Farklı yatak materyalleri kullanıldığında NO Emisyonu

3. YAPILAN DENEYLER

3.1. Dçney Sisteminin Tanıtılması

Deneylerin yapıldığı akışkan yatak sistemi Şekil 9 ye yakıcının yatak kısmının ayrıntıları ise Şekil 10'da görülmektedir. Isıya dayanıklı çelikten yapılmış olan yakıcıda dar bir koni şeklinde olan hava dağıtıcısı, havanın uniform bir şekilde dağılmasını sağlamaktadır.

Yakıt, yakıt deposundan besleme hızı istenildiği şekilde ayarlanarak, hava dağıtıcısının üstündeki bir noktadan ve yakıcının çapına teğetsel bir konumda beslenmektedir. Yatakta oluşan ısı, yatak içine yerleştirilmiş boruların içinde devreden su tarafından alınmakta ve su akış hızı yataktaki sıcaklık ölçülerden gelecek sinyallere göre otomatik olarak kontrol edilmektedir. Yatak yüksekliği, oluşan fazla külün yakıcının tabanında bulunan bir boru vasıtası ile otomatik olarak dışarıya alınması sonucu sabit tutulmaktadır.

Yakıcıdan çıkan gazlar için iki siklon sistemi vardır. Birinci sistemde, gaz akımı ile gelip ilk siklonda ayrılan uçucu küller, bir boru vasıtası ile tekrar yatağa dönmekte, ikinci siklonda ayrılmış olanlar da ayrı bir kaptan toplanmaktadır. İkinci sistemde ise her iki siklon da toplama kaplarına bağlanmıştır. Uçucu küller yatağa geri verilmemektedir.

İkinci siklondan çıkan gazlardan numune almak üzere iki gaz toplayıcı kullanılmıştır. Bunlardan biri su ile soğutulmakta olup, gaz toplama işi düzenli aralıklarla yapılmaktadır. İkinci toplayıcı ise, gazdan sürekli olarak numune alıp oksijen analizörüne göndermekte ve devamlı oksijen, analizi yapılmaktadır. SO₂, NH₃ ve klor analizi için gaz toplamak üzere üçüncü bir duzen daha vardır.

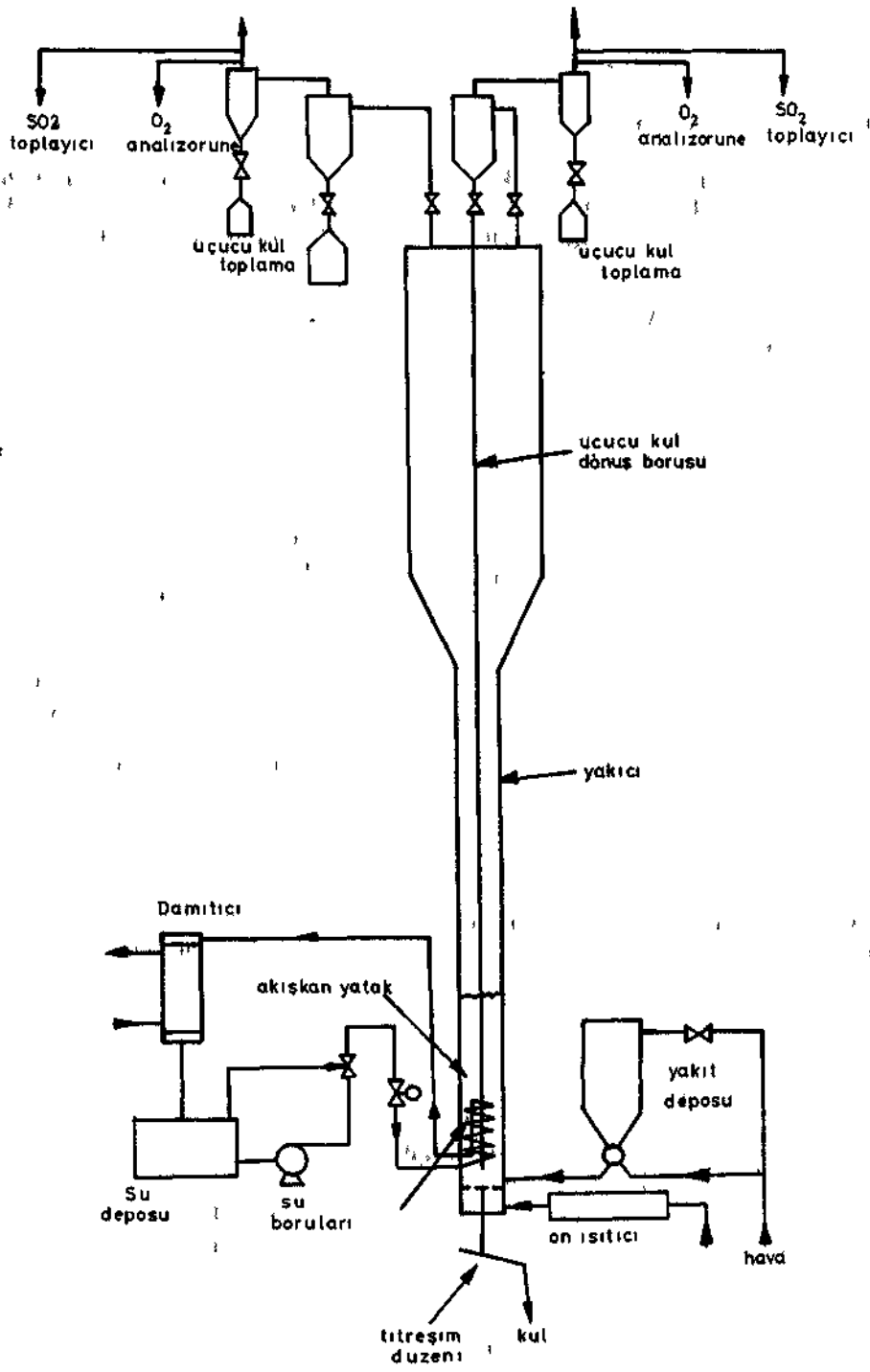
3.2. Akışkan Yatakta Yapılan Deneyler

ön denemelerden alınan sonuçlara göre, yakıt tane büyüklüğü - 1.68 mm olarak saptanmıştır. Hava hızı 0.61 m/s olarak hesaplanmış ve bu değer tutulmuştur.

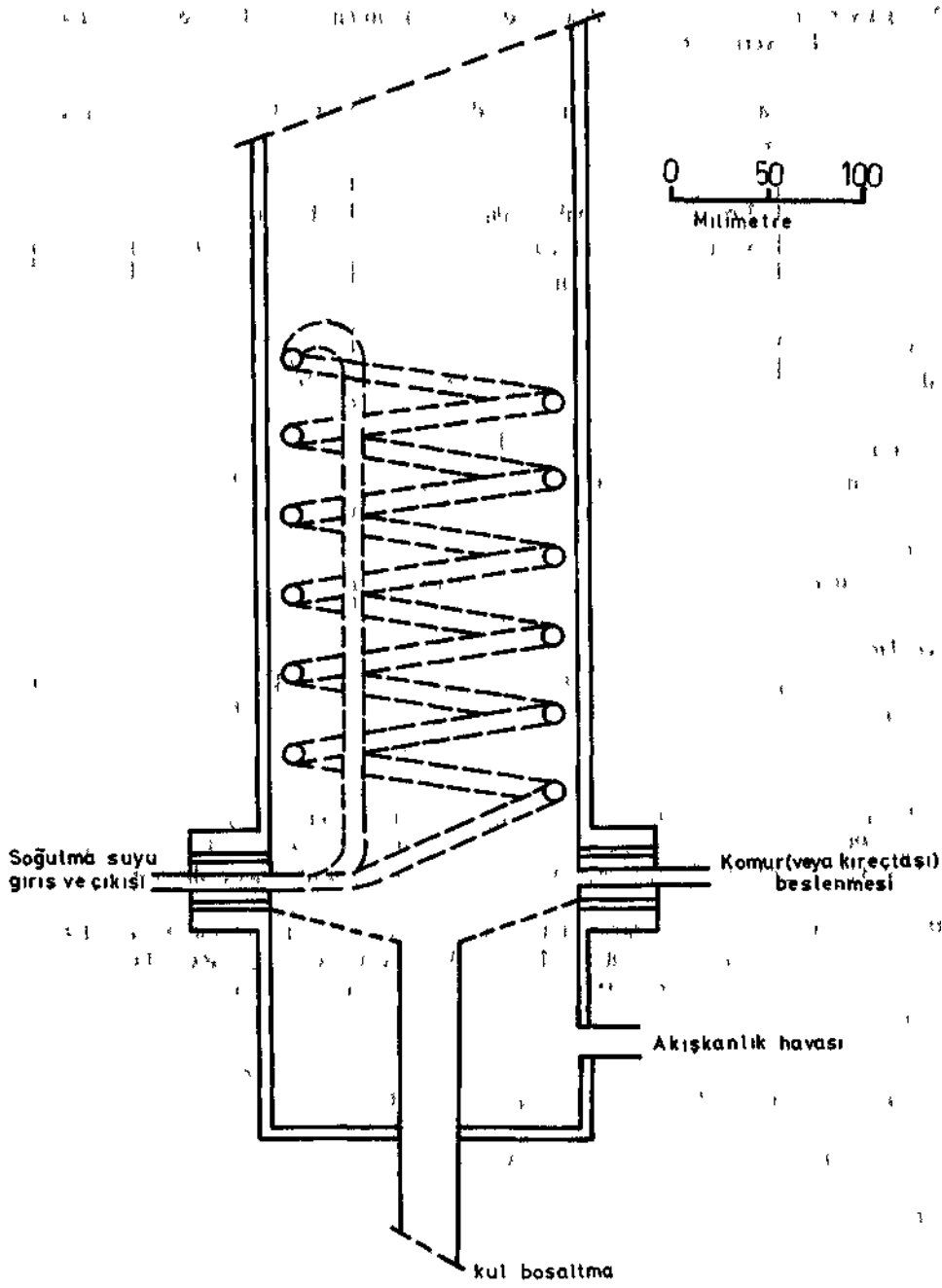
Çizelge 3'te akışkan yatağı beslenen linyitin tane büyüklüğü analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3-j Akışkan Yatağa Beslenen Linyitin Tane Büyüklüğü

Tane Büyüklüğü	Beslenen yakıtın %'si
+ 1,7 mm	0,5
+ 500 µ	56,5
+ 250 µ	19,4
+ 125 µ	10,7
+ 63 µ	6,7
- 63 µ	6.2



Şekil 9— Yanma deneylerinin yapıldığı akışkan yatak sistemi



Şekil 10— Yanma deneylerinin yapıldığı akışkan yatak sisteminde yatak detayı

Yatağa verilen yakıt ile yatak külleri ve uçucu küllerin endüstriyel ve elementer analizi ise çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4— Akışkan Yatağa Beslenen Yakıt İle Yatak Külleri ve Uçucu Küllerin Endüstriyel i/e Elementer Analizi.

%	Beslenen yakıt	Yatık Külü		Uçucu Kül		Toz
		Deneyden önce	Deneyden sonra	Birincil	İkincil	
Nem	20.7			0.5	1.6	
Kül	22.5	99.1	99.9	98.4	93.6	95.2
Karbon (kuru numune-de)	49.6	0.13	0.05	0.80	0.90	1.05
Hidrojen (kuru numune-de)	3.8	0.09	0.05	0.15	0.20	0.35
Toplam kükürt (kuru numunede)	5.6	2.30	3.25	3.4	5.15	

Şekil 11'de yanma sırasındaki sıcaklık kaydı görülmektedir. Deney süresince yatak sıcaklığı 800°C'ta sabit tutulmuştur. Şekil 12'de görülen oksijen kaydı ile de fazla hava miktarı devamlı kontrol edilmiş ve yanma koşullarındaki kararlılık izlenebilmiştir.

İkinci siklondan çıkan baca gazları¹ içindeki SO₂, NH₃ ve klor tayini için bu gazlardan her saatte bir on dakika süre ile ve 4.9 - 5.0 l/dâk. hızla gaz numunesi alınmıştır. Ayrıca baca gazındaki SO₂ miktarını tayin için çabuç sonuç vermesi nedeniyle "Dragar" tüp yöntemi de kullanılmıştır,

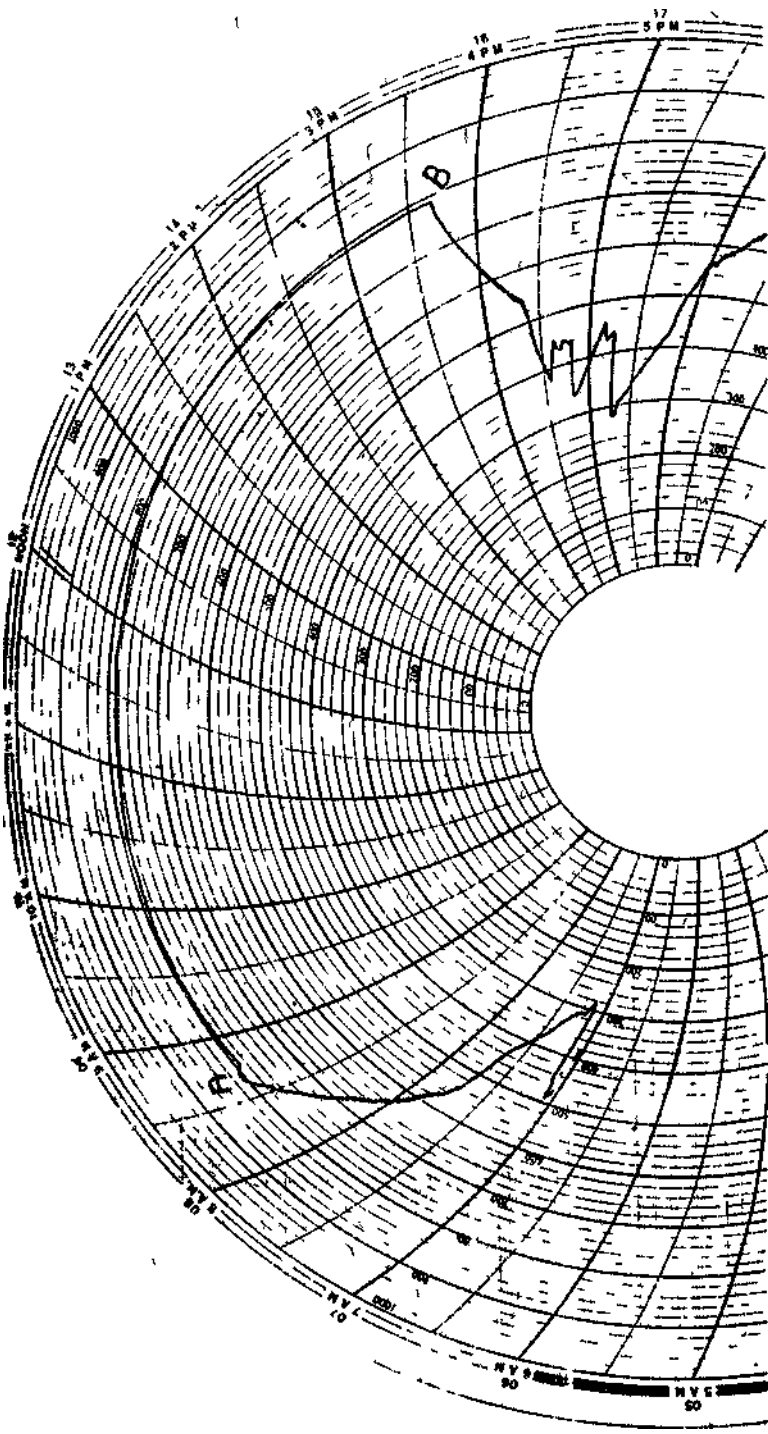
Yanma sırasında, gene ikinci siklon çıkışından alınan gaz numuneleri de "Chemiluminescence NO_x Analyser" ile NO_x (NO+NO₂) tayini de yapılmıştır.

Baca gazlarındaki SO₂ ve NO_x miktarları Çizelge 5'de verilmiştir.

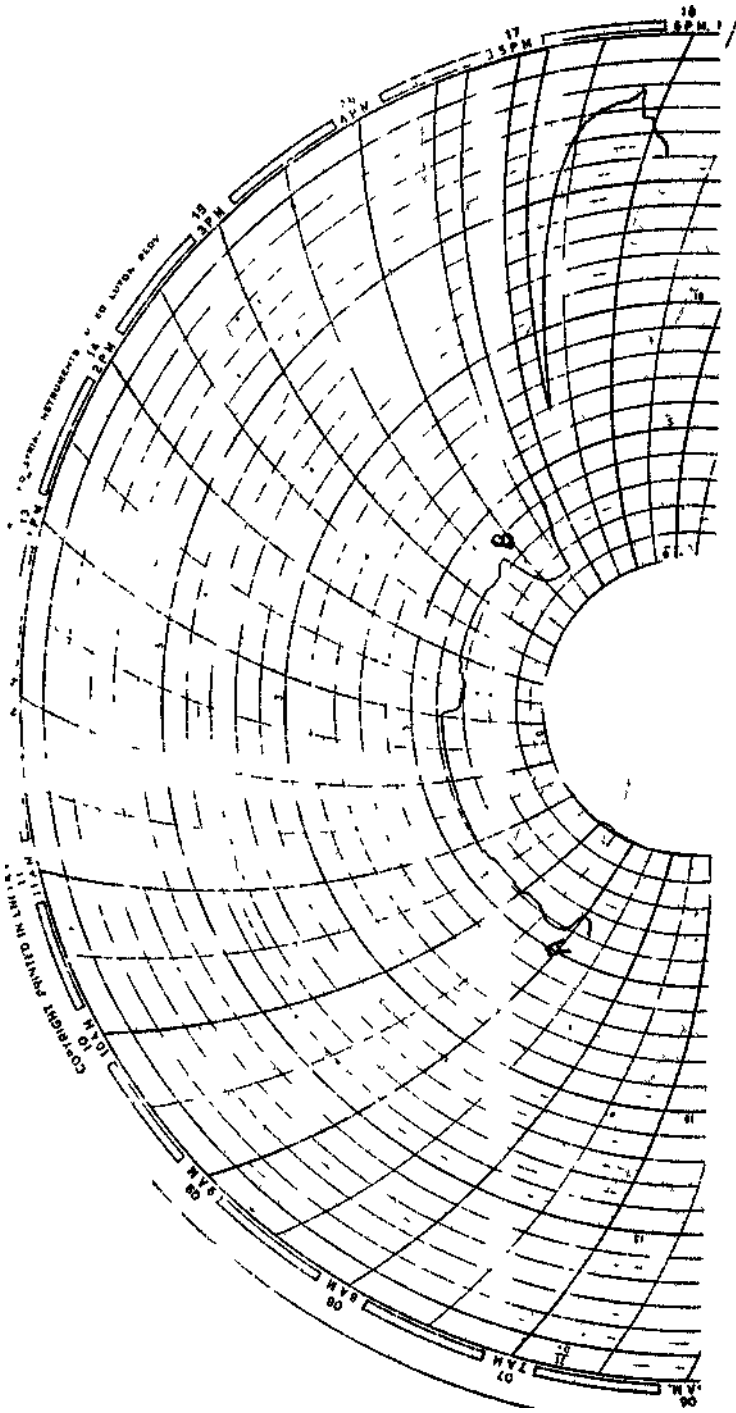
Çizelge 5- Baca Gazlarında SO₂ ve NO_x Miktarları

SO₂ emisyonu ppm kuru 3187
NO_x emisyonu ppm kuru 364

NO_x miktarı 320 - 380 ppm arasında değişmiş olup, en kararlı değer 364 ppm olarak alınmıştır.



Şekil 11— Linyit yanması sırasında sıcaklık kaydı



Şekil 12-- Linyit yanması sırasında baca gazlarındaki oksijen miktarı kaydı.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Kükürt Tutulması

Kullanılan linyitin kükürt miktarı % 5.6 kadar olup, kükürtün tutulmaması halinde baca gazlarındaki SO₂ miktarının 5000 ppm dolaylarında olması beklenirdi. Ancak 800°C yatak sıcaklığı ve 0.61 m/s lik akışkanlık hızıyla yapılan ve uçucu küllerin yeniden yatağa verilmediği bu denemelerde, yalnız 3200 ppm'lik bir SO₂ miktarı bulunmuştur. Buna göre, kütle dengesinden yapılacak bir hesaplama ile kömür külü içinde bulunan CaO tarafından doğal olarak % 32 oranında kükürtün tutulduğu bulunmuştur. Bu oldukça yüksek kükürt tutulması, yatak içinde bulunan kalsiyum miktarının yüksek olmasından ileri gelmektedir. Beslenen yakıttaki CaO miktarı % 2.39 olup, Ca/S mol oranı 0.24'tür. İngiliz ve Amerikan kömürlerinde bu oran, sırasıyla 0.01 ve 0.2 dolayındadır. Bununla birlikte 3200 ppm'lik bir SO₂ emisyonu, A.B.D. standartlarında yerleşme alanları için konulan 300 ppm'lik SO₂ emisyonununun 10 katıdır. Bu nedenle, SO₂ emisyonunun azaltılması gerekmektedir. Daha önceki deneylere göre aynı yakıtla % 93 oranında bir SO₂ tutulması istenirse yakıtta Ca/S mol oranı 3,5 olacak şekilde kireçtaşı eklenmelidir. Bununla birlikte, her kireçtaşı reaktivitesinin aynı olmadığı ve taşın kaynağına göre farklılıklar göstereceği, ayrıca, ticari bir uygulama bahis konusu olduğunda, 3 m/s gibi yüksek bir akışkanlık hızının kullanılan kalsiyumun etkinlik derecesini % 50 oranında azaltabileceği dikkate alınması gereken hususlardır.

4.2. NO_x Emisyonu

>

Kömürün yanması sırasında NO_x emisyonu 320 - 380 ppm arasında bulunmuş olup, bu değer klasik yakma sistemlerinde rastlanan miktardan % 60 - 70 daha düşüktür. Bu durumun, klasik sistemlere göre akışkan yakıcının daha düşük sıcaklıklarda çalışmasından ve ayrıca yatakta oluşan CaSO₄'ün, NO'nin bozunması reaksiyonunun katalizlemesinden ileri geldiği anlaşılmaktadır.

Bu sonuçlara göre, bir akışkan yataklı yakıcı sisteminin kullanılması ile kömür yanması sırasında hava kirliliğine yol açan SO₂ emisyonunun yatağa katılacak yeterli miktarda kireçtaşı ya da dolomit ile var olan ya da gelecekte konacak limitlere kadar indirilmesi, teknik olarak olanaklı olacaktır. NO_x emisyonu bakımından ise, akışkan yataklı yakıcıda NO_x emisyonunun miktarı önemli ölçüde azalmakla birlikte, bu *emisyonun* çok düşük bir değere indirilmesi henüz akışkan yakıcıda gerçekleştirilememiştir.

KAYNAKLAR

- 1—ROBINSON, E. and ROBBINS, R.C.— "Source Abundance and Fate of Gaseous Atmospheric pollutants" SRI Project PR 6755 American petroleum Ins. 1968
- 2—JONKE, A.A.— "Reduction of Atmospheric Pollution by the Application of Fluidized — Bed Combustion", Annual Report to APCO, ANL/ES—CEN—1002
- 3—HIGHLEY, J.— "Reduction In sulphur Dioxide Emission by Fluidized — Bed Combustion" Salford University Symposium, April 1973
- 4—GIBBS, B.M., PEREIRA, F.J. and BEER, J.M.— "Coal Combustion and NO Formation in an Experimental Fluidized — Bed" Institute of Fuel Symposium Series No: 1 Fluidized Combustion.
- 5—HAMMONS, G.A. and SKOPP, A.— "NO_x Formation and Control In Fluidized — Bed Coal Combustion Processes" ASME winter Annual Meeting Nov. 28 — Dec. 2, 1971

