

**DÜŞÜK KALİTELİ KÖMÜRLERİN
DEĞERLENDİRİLMESİ VE S O₂ EMİSYONU
KONTROLÜ**

*UTILISATION OF LOW RANK COALS AND CONTROL OF
S O₂ EMISSION*

Ramazan KÖSE*

ÖZET

Düşük ısı değerleri, yüksek kükürt, kül ve nem içerikleri nedeniyle çevre kirlenme potansiyeli yüksek olan linyitlerimizin gerek endüstri gerekse konutlarda yaygın olarak kullanılması, atmosferdeki kirliliği artırmaktadır. Birincil enerji kaynakları bakımından fazla zengin olmayan Ülkemizde, en önemli öz enerji kaynaklarımızdan biri olan linyitlerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada; düşük kaliteli linyitlerimizin model bir akışkan yataklı yakıcıda yakılması sırasındaki S O₂ emisyonu araştırılmış ve yatak ile işletme tasarım değerlerinin S O₂ emisyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir.

ABSTRACT

The intensive use of lignites which are potentially air pollutant due to their high sulphur, ash, humidity content and low calorific value, increases the pollution of atmosphere. The utilisation of lignites, one of the most important energy sources of Turkey, is essential since Turkey is not rich of other primary energy sources.

In this study, S O₂ emission from low rank lignites burned in a fluidized bed combustor is investigated and the effects of fluidized bed and its design on SO₂ emission are determined.

*Yrd.Doç.Dr. Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü KÜTAHYA

I.GİRİŞ

Hızla gelişen teknolojiye paralel olarak her yıl artmakta olan enerji ihtiyacı; kaliteli enerji kaynaklarının azalması, düşük kaliteli yakıtların kullanılması ve çevre sorunları gibi birçok problemleri de birlikte getirmektedir. Linyitlerimizin; düşük ısı kapasite, yüksek uçucu madde, yüksek kükürt içeriği ve yüksek kül oranlarına sahip olması konvansiyonel sistemlerde zor yanmalarına neden olmaktadır. Düşük ısı kapasite, linyitin yakılacağı tasarımlarda bazı zorluklar getirmektedir. Yüksek uçucu madde oranı ısı transferi seçimini etkilemekte, yüksek kükürt içeriği ise atmosfere büyük miktarda SO_2 verme ve çevre kirliliğini artırma riskini getirmektedir. Yüksek kül oranı, yanma verimini düşürmekte ve yakıcı tasarımını etkilemektedir. Linyit rezervlerimizin oldukça zengin olması bu kaynaklardan yararlanmak zorunda olduğumuz gerçeğini ortaya koymaktadır. Bu ise ancak linyit tüketimi sonucu oluşan olumsuzlukları, diğer bir deyişle CO_2 , SO_x , NO_x ve toz emisyonlarını en azz indiren yeni teknolojilerin devreye girmesi ile mümkün olacaktır.

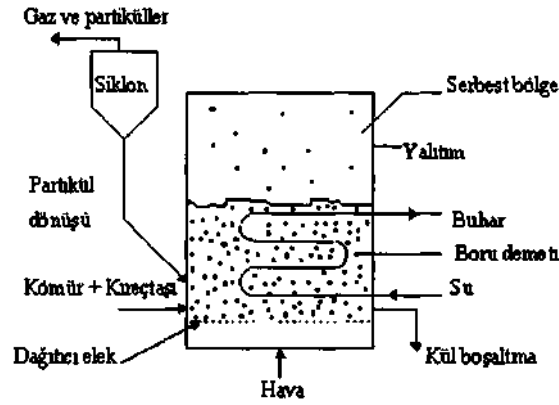
Son yıllarda, kömürün ve özellikle linyitin; çevre açısından kabul edilebilir bir yakıt haline getirilebilmesi için yakma teknolojilerinde büyük atılımlar gerçekleştirilmiştir. Atmosferik, basmçlı ve dolaşımli akışkan yatakta yakma gibi yeni teknolojilerin geliştirilmesinin yamsıra, konvansiyonel yakma sistemlerinde de önemli değişiklikler yapılmıştır(1-4). Baca gazı antma teknolojilerinde kaydedilen gelişmeler de bunlara eklenince, kömür kullanımı, havayı kirletme açısmndan eskisi kadar-ürkütücü olmaktan çıkmıştır.

Düşük kaliteli linyitlerimizden çevreye zarar vermeden faydalanmak için çeşitli seçenekler mevcuttur. Linyitler kullanım öncesi bir takım proseslerle temizlenebilir, linyit-sıvı karışımın hazırlanabilir, akışkan yataklı sistemlerde yakılabilir veya zararlı baca emisyonları çevreye atılmadan önce temizlenebilir. Akışkan yatakta yakma bu sorunlara çözüm getirerek linyitlerimizin yaygın ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacak önemli bir seçenek oluşturmaktadır.

2. AKIŞKAN YATAKLI YAKICILAR

Yakma sistemlerinden biri olan Akışkan Yatakta Yakma (AYY) teknolojisi; düşük kaliteli kömürlerin yüksek verimle yakılması ve çevre kirlenmesi problemine alternatif bir çözüm olabilmektedir. Akışkan yatakları çalışma mekanizması, belli bir tane büyüklüğüne getirilmiş katı yakıtların, kum ve/veya kül gibi yanmayan taneciklerden oluşan ve alttan belli bir hızla üflenen hava ile akışkanlaştırılan bir yatak içinde yakılması esasına dayanmaktadır(5,6).

Akışkan yataklı kazanlar, linyitleri Türk linyitlerine çok benzeyen Çin Halk Cumhuriyeti'nde oldukça yaygındır. Şekil 1'de gösterilen akışkan yataklı yakıcıda, yakma havası aynı zamanda akışkanlaştırma görevi görür ve rüzgar odacığı yoluyla dağıtıcı elekten geçerek yatağa beslenir. Havanın yatak içinde homojen dağılımını sağlayan dağıtıcı elek, aynı zamanda yatak durduğu zaman, yatak malzemesini ve külü taşımak gibi bir işleve de sahiptir.



Şekil 1. Bir Akışkan Yatak Yakıcısının Şematik Görünümü

Ayrıca yanma sırasında yatağa kireçtaşı ilave edilerek SO_2 gazını absorbe etmek ve yanma sıcaklığını 1123 K civarında tutarak azot oksitlerin oluşumunu önlemek mümkündür, özellikle yüksek ısı güçlerinde çok verimli ve ekonomik olan akışkan yatak sistemlerinin gelişmiş batı ülkelerinde olduğu gibi sanayide ve kuvvet santrallerinde uygulanmaları kaçınılmazdır(7-9).

3. SO_2 GİDERİLMESİ

Fosil yakıtların yanma sonucu oluşturdukları SO_x , NO_x , CO, C^H_n , ve taşınan katı partiküller hava kirliliğinin başlıca nedenleridir. Bunların en önemlisi sayılan SO_x 'in yaklaşık % 98'i SO_2 , % 2'si ise SO_3 bileşikleridir (10).

Kükürt içerikleri dünya ortalamalarının çok üzerinde olan linyitlerimizin, konvansiyonel yakıcı ve kazanlarda yakılması SO_2 emisyonu açısından hava kirliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Linyitlerin hava kirliliği meydana getirmeksizin yüksek verimle yakılmasını sağlayan AYY'lerin bütün tiplerinin en önemli avantajlarından birisi, yanma sonucu çıkan SO_2 gazının yanma esnasında yatağa kireçtaşı veya dolomit ekleyerek önemli ölçüde tutulmasının sağlanabilmesidir. Kazana toz

halinde enjekte edilen kireçtaşı ve/veya dolomit yanma gazları içinde kalsiyum oksite (CaO) ve magnezyum oksite (MgO) dönüşür ve SO₂ ile reaksiyona girerek sülfath bileşikleri meydana getirirler. Termodinamik açıdan CaO, SO₂ ile 923-1523 K arasında yeterli süre temas ederse reaksiyona girer. Bu yöntemle SO₂ gideriminin avantajları, yatırım ve işletme masraflarının düşük olmasıdır.

Çizelge 1. Akışkan Yataklı Yakıcıda SO₂ Tutumu İçin Meydana Gelen Reaksiyon ve Isıları

Reaksiyon	Reaksiyon Isısı (kJ/kmol)
$S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)}$	- 296900
$CaCO_{3(s)} \rightarrow CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$	177790
$CaO_{(s)} + SO_{2(g)} + 1/2 O_{2(g)} \rightarrow CaSO_{4(s)}$	- 500200
$CaCO_{3(s)} + SO_{2(g)} + 1/2 O_{2(g)} \rightarrow CaSO_{4(s)} + CO_2$	- 322410

Akışkan yatakta kömürün yanması sonucu oluşan SO₂'nin tutulmasında, kalsinasyon ve sülfatlaşma reaksiyonları önemli bir rol oynamaktadır. Çizelge 1.'de AYY'de SO₂ giderilmesi için meydana geldiği kabul edilen reaksiyonlardan bazıları verilmektedir. Literatürde bu reaksiyonun kinetiği: en uygun reaksiyon şartları ve reaksiyon boyunca gözenekliliğinin değişimi için kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır (10-21).

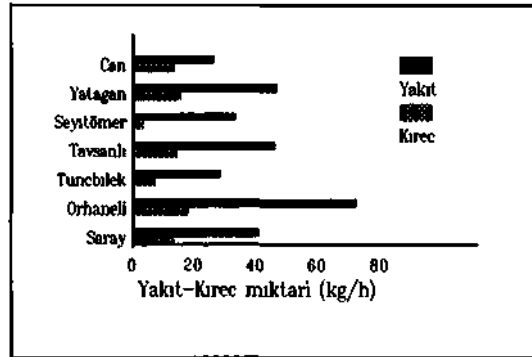
Termodinamik açıdan düşük sıcaklıklar, CaSO₄ oluşmasını olumlu yönde etkilemektedir. Deneysel veriler; bu reaksiyon için optimum sıcaklığın 1098 K civarında olduğunu, 1173 K'den yüksek sıcaklıklarda ise SO₂ 'nin tutulma veriminin önemli ölçüde azaldığını göstermektedir.

Yukarıda bahsedildiği gibi 1173 K'den yüksek sıcaklıklarda SO₂'nin kireçtaşı ile tutulması azaldığından, konvansiyonel sistemlerde SO₂ emisyon verimi molar Ca/S oranının 2-3 olduğu hallerde ancak % 40-50 arasındadır. Buna karşılık Akışkan yataklı yakıcılarda, molar oranın (Ca/S) 3 olduğu durumda % 90 oranda SO₂ tutulması sağlanabilir. Ancak, kullanılan kireçtaşının boyutu çok önemlidir. Çok küçük taneciklerin kolayca akışkan yataktan taşınıp kaçabilmelerine karşın, büyük taneciklerden ise tam yararlanma mümkün olamamaktadır. Zira SO₂'nin CaO ile tutulması sonucu oluşan CaSO₄'ün molar hacmi CaO'nun molar hacminden 2.42 misli daha büyük olduğundan, gözeneklerin tıkanması sonucu bu reaksiyon tanecik yüzeyine yakın yerlerde sınırlanır.

Çizelge 2. Akçura ve Gerger ile Ağabay'ın verdiği analiz değerlerinden oluşturulmuştur(22,23) Tablodaki kuru bazda verilen elementel analiz değerleri bilgisayar programına uygulanarak, 100 kW ısı güce karşılık yatağa beslenmesi gereken yakıt ve kireçtaşı miktarları bulunmuştur(24). Şekil 2 incelendiğinde Seyitömer linyiti % 1.2 kükürt yüzdesi ile 2.88 kg/h'lik kireçtaşı beslemesine ihtiyaç gösterirken Çan linyiti ise 15.47 kg/h'lik değerle en üst sırada yer almaktadır. Kireçtaşı ile yakıt arasındaki ilişki incelendiğinde ise; Çan linyitinde kireçtaşı/yakıt oranı 0.52, Tunçbilek linyitinde 0.26, Seyitömer linyitinde 0.10 olmaktadır. Kireçtaşı miktarı; kireçtaşı/yakıt oranına bağlı olarak yataktaki katı dengesini doğrudan etkilemekte sonuçta ise yatak tasarım değerleri değişmektedir.

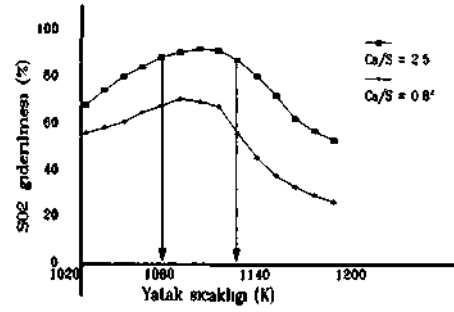
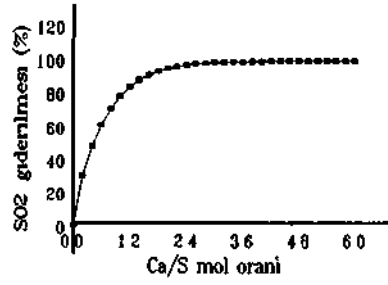
Çizelge 2. Hesaplamalarda Kullanılan Kömürler ve Kimyasal Özellikleri(22,23)

Kömür	Elementel Analiz				
	C	H	O	N	S
Saray	45.51	4.19	16.67	0.89	3.8
Orhaneli	32.54	3.19	15.24	0.95	2.9
Tavşanlı	37.72	3.21	17.87	1.61	3.1
Tunçbilek	56.60	4.51	16.24	1.44	3.0
Seyitömer	55.17	5.15	24.22	1.19	1.2
Çan	44.50	4.80	13.20	0.90	6.0
Yatağan	49.01	4.78	23.12	0.71	3.9



Şekil 2. 100 kW Enerji Üretimindeki Yakıt-Kireçtaşı Tüketimi

Kireçtaşı ve/veya dolomit ilavesi ile SO_2 emisyonunu % 90 üzerinde azaltmak mümkün olabilmektedir. Şekil 3'de görüldüğü gibi Ca/S mol oranı 2.5 civarında iken maksimum SO_2 giderilmesi sağlanmaktadır. Mol oranının daha fazla olması SO_2 emisyonunu fazla etkilememekte, fakat, buna karşılık yatağa beslenen kireçtaşı miktarı artacağından yatak ebadlarında çok az bir artış gözlenebilmektedir. Yatak sıcaklığı ile SO_2 giderilmesi arasındaki ilişki için Şekil 4. incelendiğinde; SO_2 tutulmasının başlangıçta artan yatak sıcaklığı ile arttığı, yatak sıcaklığının belli bir değerinde maksimuma ulaştığı ve daha sonra artan yatak sıcaklığı ile birlikte azaldığı görülmektedir. Maksimum SO_2 tutulması 1088-1128 K aralığında elde edilmektedir. Yatak sıcaklığının düşük olduğu durumlarda kireçtaşı kalsinasyonunu tamamlayamamaktadır. Bu durum, yüksek Ca/S mol oranlarında daha belirgin olarak gözlenmektedir. Bu nedenle kireçtaşı kullanımı, düşük yatak sıcaklıklarında daha az olmaktadır.



Şekil 3 Ca/S Mol Oranının SO₂ Tutumuna Etkisi(24)
Etkisi(24)

Şekil 4 Yatak Sıcaklığının SO₂ Tutumuna

4. SO₂ GİDERİLMESİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

Akışkan yataktaki, CaO ile SO₂ reaksiyonu ve kömür yanması çok kompleks bir işlemdir. Yatakta SO₂ tutumunun derecesini artırmak için incelenmesi gereken birçok faktör vardır. Çizelge 3'de bu parametreler etkilenen ile birlikte verilmektedir.

Çizelge 3 SO₂ Emisyonunu Etkileyen Parametreler

Etkileyen Parametreler	Yorum
Yatak Sıcaklığı	Maksimum SO ₂ tutulması 1088-1118 K' de olmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklarda CaSO ₄ bozulur ve SO ₂ açığa çıkar.
Ca/S mol oranı	SO ₂ tutumu Ca/S mol oranı 2.5-3 arasında maksimumdur.
Yatak Basıncı	1 bar basınç civarında CaCO ₃ , daha yüksek basınçlarda ise dolomit kullanılmaktadır.
Kireçtaşı özelliği	Kireçtaşının Ca içeriğinin artması ve tanecik boyutunun küçülmesi SO ₂ tutumunu artırmaktadır.
Fazla hava miktarı	Optimal SO ₂ tutumu % 5-15 fazla hava ile olmaktadır.
İşletme hızı	Yataktan daha hızlı uzaklaşan küçük tanecik, reaksiyon için daha kısa zamana sahiptir. Yüksek işletme hızlarında kireçtaşı yatak içinde uzun süre kalamayabilir.
Tanecik çapı	Birim hacimde daha fazla yüzeye sahip olan küçük tanecik, reaksiyona girmeye daha uygundur.
Yatak yüksekliği	Yatak derinliği arttıkça, gaz ile katıların kalma zamanı artacağından SO ₂ emisyonu azalır.
Kömür besleme yeri	Yatağın üst kısmında SO ₂ sorbent ile reaksiyona giremeyebilir ve neticede SO ₂ tutumu azalabilir.
Kömürün özellikleri	Kül, uçucu miktarı, şişme oranı, organik kükürtün inorganik kükürte dönüşüm oranı ile kükürt miktarı SO ₂ tutumunu etkiler.

Bütün araştırmacılar; Ca/S mol oranı artışıının yatakta açığa çıkan SO₂ miktarını azalttığı görüşündedirler. Yapılan çalışmalarda maximum SO₂ tutulmasının, 1088-1128 K civarında oluştuğu görülmektedir. Fakat sadece yatak sıcaklığının optimum değerde olması yeterli değildir. Aynı işletme şartları ve Ca/S oranında kullanılan değişik kireçtaşları, farklı SO₂ tutumu göstermektedir. Kireçtaşı taneciklerinin boyutu, kükürt tutumunu değişik şekilde etkilemektedir.

5. SONUÇLAR

Dışa bağımlı enerji kaynaklarının, başta doğal gaz olmak üzere, ileride birçok yönden sorun yaratabileceği düşünüldüğünde; kömürün Türkiye için çok önemli bir potansiyel olduğu görülmektedir. Ayrıca hem çevre kirliliğini önleme, hem de düşük ısı değerli yakıtlarımızı değerlendirme açısından, ülkemizde akışkan yataklı sistemlerin devreye alınmasının zorunluluk haline geldiği bir gerçektir. Bu nedenle;

- 1) Verilen bir AYY'da her tür linyiti sadece işletme koşullarını zorlayarak yakmak mümkün olamayacağından, sistem tasarru veya seçiminde, linyitlerimizin karakterine uygun kendi teknolojimizin geliştirilmesi çabalarına öncelik ve ağırlık verilmelidir.
- 2) Kurulacak sistemin verimli olarak çalıştırılması için beslenecek kömürün özelliklerinde büyük sapmalar olmamalıdır. Bunun için kömür teminindeki güçlüklerle karşı önlemler alınmalı, numune alma, depolama ve ölçmelerde ülke çapında standardizasyona gidilmelidir.
- 3) SO₂ emisyonunun kontrolünde en önemli faktörler olan; Ca/S mol oranı, yatak sıcaklığı, işletme hızı, minimum akışkanlaştırma hızı, kireçtaşı özelliği (içeriği, boyutu v.s.), akışkan yatağın özelliği (derinliği, çapı vs.), yatakta gazın kalma süresi, tanecik çapı, yataktaki O₂ konsantrasyonu, yakıttaki kükürt miktarı, işletme basıncı, fazla hava miktarı, serbest bölgedeki katılar akışkan yatak tasarımı dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- 1) Ansoy. A.. 1991. Kömürlerin yakılması, Kömür, Editör Kural, O., Kuruş Matbaası, İstanbul
- 2) Ekinci. E., Atakül. H.. 1994. Kömür yakma sistemleri, 2000'li yıllara doğru linyit sektörümüz sempozyumu. Ankara' 119-136
- 3) Köse, R.. 1992. Kömür ve yakma teknikleri, Marmara Üniversitesi 10. yıl etkinlikleri
- 4) Uysal. B.Z.. 1991. Akışkan yataklı yakma sistemleri, Yanma ve hava kirliliği kontrolü 1. ulusal sempozyumu. Ankara. 100-126
- 5) Davidson. J.F., Harrison. D . 1963. Fluidized particles, Cambridge University press, London
- 6) Davidson. J.F., Clin. R., Harrison, D., 1985. Fluidization (second edition), Academic press, London
- 7) Vural. H., Urkan. M.K., Ankol, M., 1986. Akışkan yataklarda yakma teknolojisini uygularken. İsi bilimi ve tekniği dergisi, cilt 9. sayı 1: 55-59
- 8) özil. E., Ankol. M., Özdoğan. S.. 1993. Enerji kaynaklarının mukayeseli değerlendirilmesi yeni ve

- yenilenebilir enerji kaynakları ve Türkiye, Tesisat mühendisliği dergisi: 24-28
- 9) Atakül, H., öner, G., Yardım, M.F., 1993. Fluidized bed combustion research in Turkey, Energy. 1-15
 - 10) Saxena, S.C., 1988. Mathematical models for fluidized bed coal combustion and sulfur retention. Energy (Oxford): 557-607
 - 11) Khraisha, Y.H., Dugwell, D.R., 1992. Coal combustion and limestone calcination in a suspension reactor, Chem. Eng. Science. 993-1006
 - 12) Özcan, M, Heperkan, H., 1989. Sulfur retention during fluidized bed combustion of some Turkish lignites, Coal science and technology 16: 585-595
 - 13) Hippinen, L., v.ç.a., 1992. Gas emissions from the PFB combustion of solid fuels, J. of the Ins. of Energy: 154-159
 - 14) Lisa, K., Hupa, M., 1992. Rate-limiting processes for the desulphurisation reaction at elevated pressures, J.of the Ins. of Energy: 201-205
 - 15) Sishtla, C, v.ç.a., 1989. The effect of system parameters on fines generation in fluidized limestone coal-char mixtures, AIChE Sym. Series: 83-93
 - 16) Zhang, J., v.ç.a., 1992. Effects of fuel type and operating conditions on SO₂ emission in fluidized bed combustion, The Canadian J. of Chem. Eng: 999-1007
 - 17) Yeh, AT., v.ç.a., 1988. Sulfur retention by lignite ash during fluidized bed combustion, AIChE Journal: 82-88
 - 18) Rajan, R, v.ç.a., 1978. Simulation of fluidized bed combustors, part 2. coal devolatilization and sulfur oxides retention, AIChE Sym. Series: 112-119
 - 19) Fuertes, A.B., v.ç.a., 1992. Sulphur retention by ash during fluidized bed combustion of bituminous coal, Fuel: 507-511
 - 20) Chi, Y., Basu, P., Cen, K., 1994. A simplified technique for measurement of sorbent reactivity for use in circulating fluidized bed combustors, Fuel, volume 73: 117-122
 - 21) Lee, J.K., v.ç.a., 1993. Sulphur oxide emission and limestone utilization in two-stage swirl-flow fluidized bed combustion of sewage sludge, J. of Chem. Eng. of Japan, vol 26, no 4: 368-373
 - 22) Akçura, F., Gerger, M., 1982. Başlıca Türk linyitlerinin özellikleri, MTA yayını, Ankara
 - 23) Ağabay, M., 1987. Tipik Türk linyitlerinin akışkan yataklı yakıcıda yakılmasıyla oluşan SO₂'nin tutulması, MAE yayını, Gebze-Kocaeli
 - 24) Köse, R., 1995. Akışkan yatakta yanmanın modellenmesi ve Türk linyitlerine uyarlanması. Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.