

SEYİTÖMER LİNYİTİ-PRİNA KARIŞIMININ
AKIŞKAN YATAKTA YANMA ÖZELLİKLERİNİN
VE YAYINIMLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Devrim Barış KAYMAK
506980005011

101158

101159

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Haziran 2000
Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Haziran 2000

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ekrem EKİNCİ
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hüsnü ATAKÜL
Prof. Dr. Ahmet ARISOY

HAZİRAN 2000

ÖNSÖZ

Yoğun işlerine rağmen, çalışmalarım boyunca devamlı destek ve ilgisini gördüğüm değerli hocam Sn. Prof. Dr. Ekrem EKİNCİ'ye tüm katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Gerek tez çalışmalarım ile ilgili, gerek bunun dışında bana verdiği destek ve güvenden dolayı, öğretim hayatımda bana örnek olmuş olan değerli hocam Sn. Prof. Dr. Hüsnü ATAĞÜL'e çok teşekkür ederim.

Deneysel sistemlerle ilgili problemlerin çözümünde yardımlarını esirgemeyen hocam Sn. Doç. Dr. Ferhat YARDIM ve Sn. Hakkı ERDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım. Başta linyit numunelerinin analizleri sırasındaki katkıları olmak üzere, bana verdikleri tüm destek için Sn. Prof. Dr. Sadriye KÜÇÜKBAYRAK-OSKAY ile Termodinamik ve Enerji Teknolojisi Anabilim Dalı elemanlarına çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca verdikleri destek ve hocalıklarının yanı sıra göstermiş oldukları dostlukları için, Sn. Doç. Dr. Ahmet SİRKEÇİOĞLU ve Sn. Doç. Dr. Melek TUTER'e, seminerim sırasındaki yapıcı eleştirileri ile bana yardımcı olan hocam Sn. Doç. Dr. Birgül TANTEKİN-ERSOLMAZ'a ve çalışmalarımındaki destekleri için Proses ve Reaktör Tasarımı Anabilim Dalı elemanlarına çok teşekkürlerimi sunarım.

Mekanik konulardaki hiç eksilimleyen destekleri ile her sıkıştığım an yardıma hazır olan dostlarım Sn. Araş.Gör. Halil DERTLİ ve Sn. Kim. Yük. Müh. Oğuz KARVAN'a içten teşekkürler. Ayrıca başta B-405 sakinleri olmak üzere, çalışmalarım boyunca sürekli desteklerini gördüğüm tüm araştırmacı görevlisi arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Yardımlarından dolayı Sn. Hanife AKSU'ya da teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlanması sırasında problemlerime ortak olup, beni büyük bir özveriyle destekleyen tüm aileme ve en sıkışık anlarımda yanımda olan Özdeş BODUR'a sonsuz teşekkür ederim.

Haziran 2000

Kim. Müh. Devrim Barış KAYMAK

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOLO LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1

2. AKIŞKAN YATAK TEKNOLOJİSİ

2.1. Akışkanlaşma ve Akışkan Yatak	3
2.2. Akışkan Yatakta Yanma	5
2.3. Akışkan Yatakta Biyokütle Yanması	10
2.3.1. Biyokütle ve Biyoenenerji	10
2.3.2. Biyokütle Yanması	12
2.4. Akışkan Yatakta Yanmanın Avantaj ve Dezavantajları	14
2.5. Katı Taneciklerin Sınıflandırılması	15
2.6. Akışkan Yatakta Karışma ve Ayrışma	12
2.6.1. Akışkan Yataklarda Karışma Mekanizması	18
2.6.2. Akışkan Yataklarda Ayrışma	20
2.6.2.1. Yoğunluk Farkından Kaynaklanan Ayrışma	22
2.6.2.2. Boyut Farkından Kaynaklanan Ayrışma	23
2.6.2.3. Yüzüşen ve Batışan Zengin Sistemler	24
2.6.3. Ayrışma Eğilimlerinin Sıcaklık Profilleriyle İncelenmesi	25
2.7. Yanma Sonucu Oluşan Çevre Kirliliği ve Kontrolü	26
2.7.1. SO ₂ Yayınımı	27
2.7.2. NO _x Yayınımı	28
2.7.3. Biyokütle Yakıtlar ve Yayınımalar	30

3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Kullanılan Yakıtların ve Yatak Malzemesinin Tanıtılması	32
3.2. Numunelere Uygulanan Analizler	32
3.2.1. Kısa, Elementel Analiz ve Isıl Değer Tayini	33
3.2.2. Küllerin Kimyasal Analizi	33
3.2.3. Yatak Malzemesine Uygulanan Analizler	34
3.2.4. Numunelerin Akışkanlaşma Açısından Sınıflandırılması	34
3.3. Deney Düzenliği	34
3.4. Deneylerin Yürütülmesi	38

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. Yanma Boyunca Yataktaki Sıcaklık Dağılımı	40
--	----

40	4.1.1. Kömür Oramının ve Tanecik Boyutunun Sıcaklık Dağılımına Etkisi!
43	4.1.2. Yatak Malzemesi Boyutunun Sıcaklık Dağılımına Etkisi!
46	4.1.3. Hava Fazlasının Sıcaklık Dağılımına Etkisi!
49	4.2. Linyit-Prina Karışımının Yanma Sürecindeki SO ₂ Yayılımı
49	4.2.1. Linyit-Prina Oramının SO ₂ Yayılımına Etkisi!
52	4.2.2. Kömür Tanecik Boyutunun SO ₂ Yayılımına Etkisi!
52	4.2.3. Hava Fazlasının SO ₂ Yayılımına Etkisi!
54	4.3. Linyit-Prina Karışımının Yanma Sürecindeki NO _x Yayılımı
57	4.4. Linyit-Prina Karışımının Yanma Sürecindeki CO ve O ₂ Derişimleri
62	5. GENEL SONUÇLAR
63	KAYNAKLAR
68	EKLER
76	ÖZGEÇMİŞ

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1.	Yanabilir biyokütle türleri	11
Tablo 2.2.	İki bileşenli sistemlerde taneciklerin davranımı.....	21
Tablo 3.1.	Linyit ve prina numunelerinin kısa analizi.....	33
Tablo 3.2.	Linyit ve prina numunelerinin elementel analizi.....	33
Tablo 3.3.	Linyit ve prina küllerinin kimyasal analiz değerleri.....	33
Tablo 3.4.	Kumun kimyasal analiz değerleri	34
Tablo 3.5.	Numunelerin akışkanlaşma açısından sınıflandırılması	34

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ

3	Şekil 2.1 : Akışkanlaşma aşamaları.....
6	Şekil 2.2 : Akışkan yatakta yanmanın aşamaları.....
17	Şekil 2.3 : Katı taneciklerin sınıflandırılması.....
25	Şekil 2.4 : Ayrışma rejimleri.....
29	Şekil 2.5 : Yakıt-azotlu dönüşüm reaksiyonları.....
35	Şekil 3.1 : Deney düzeneği.....
41	Şekil 4.2 : 1.9-2.7 mm boyutunda kömür içeren karışımların akışkan yatakta eksenel yönde sıcaklık dağılımları (YM: 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
42	Şekil 4.3 : 2.7-3.3 mm boyutunda kömür içeren karışımların akışkan yatakta eksenel yönde sıcaklık dağılımları (YM: 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
44	Şekil 4.4 : 0.3-0.6 mm'lik yatak malzemesi içeren akışkan yatakta eksenel yönde sıcaklık dağılımları (KO: %50 kömür; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
45	Şekil 4.5 : 1.0-1.4 mm'lik yatak malzemesi içeren akışkan yatakta eksenel yönde sıcaklık dağılımları (KO: %50 kömür; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
46	Şekil 4.6 : %20 hava fazlası ile çalışılan akışkan yatakta eksenel yönde sıcaklık dağılımları (KO: %50 kömür; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
47	Şekil 4.7 : %30 hava fazlası ile çalışılan akışkan yatakta eksenel yönde sıcaklık dağılımları (KO: %50 kömür; YM: kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.340 m ³ /dak).....
48	Şekil 4.8 : 1.0-1.9 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yatakta SO ₂ yayınımları (YM: 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
50	Şekil 4.9 : 1.9-2.7 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yatakta SO ₂ yayınımları (YM: 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
51	Şekil 4.10 : 2.7-3.3 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yatakta SO ₂ yayınımları (YM: 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
53	Şekil 4.11 : %20 hava fazlası ile çalışılan akışkan yatakta SO ₂ yayınımları (KO: %50 kömür; YM: kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.340 m ³ /dak) ...
54	Şekil 4.12 : %30 hava fazlası ile çalışılan akışkan yatakta SO ₂ yayınımları (KO: %50 kömür; YM: kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.368 m ³ /dak) ...

56	Şekil 4.13 : 1.0-1.9 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataкта NO _x yayınımları (YM: 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
58	Şekil 4.14 : 1.0-1.9 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataкта CO yayınımları (YM: 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
59	Şekil 4.15 : 1.9-2.7 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataкта CO yayınımları (YM: 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
59	Şekil 4.16 : 2.7-3.3 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataкта CO yayınımları (YM: 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
60	Şekil A.1 : 1.0-1.9 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataкта O ₂ derişimleri (YM: 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
69	Şekil A.2 : 1.9-2.7 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataкта O ₂ derişimleri (YM: 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
70	Şekil A.3 : 2.7-3.3 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataкта O ₂ derişimleri (YM: 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m ³ /dak; HF: %10).....
71	Şekil A.4 : %20 hava fazlası ile galışılan akışkan yataкта CO yayınımları (KO: %50 kömür; YM: kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.340 m ³ /dak) ...
72	Şekil A.5 : %30 hava fazlası ile galışılan akışkan yataкта CO yayınımları (KO: %50 kömür; YM: kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.368 m ³ /dak) ...
73	Şekil A.6 : %20 hava fazlası ile galışılan akışkan yataкта O ₂ derişimleri (KO: %50 kömür; YM: kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.340 m ³ /dak) ...
74	Şekil A.7 : %30 hava fazlası ile galışılan akışkan yataкта O ₂ derişimleri (KO: %50 kömür; YM: kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.368 m ³ /dak) ...

SEMBOL LİSTESİ

h	: Akışkan yatak yüksekliği
h_p	: Statik yatak yüksekliği
h_s	: Dinamik yatak yüksekliği
HD	: Hava Debisi
HF	: Hava Fazlası
KO	: Karışma Oranı
T	: Sıcaklık (°C)
T₁	: Akışkan yatakta dağıtıcı elekten itibaren 5 cm'deki sıcaklık (°C)
T₂	: Akışkan yatakta dağıtıcı elekten itibaren 15 cm'deki sıcaklık (°C)
T₃	: Akışkan yatakta dağıtıcı elekten itibaren 30 cm'deki sıcaklık (°C)
ΔT₁	: Dağıtıcı elekten itibaren 5 cm ile 15 cm yükseklikteki bölgeler arasındaki sıcaklık farkı (°C)
ΔT₂	: Dağıtıcı elekten itibaren 15 cm ile 30 cm yükseklikteki bölgeler arasındaki sıcaklık farkı (°C)
YM	: Yatak Malzemesi

SEVİTÖMER LİNYİTİ-PRİNA KARIŞIMININ AKIŞKAN YATAKTA YANMA ÖZELLİKLERİNİN VE YAYINIMLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Enerji eldesi kadar bunun mümkün olduğunca temiz ve verimli bir şekilde elde edilmesi de gerekmektedir. En büyük enerji kaynaklarımızdan biri olan linyitlerimiz düşük kaliteli olduklarından büyük bir kirlenme potansiyeline sahiptirler. Bu bakımdan alternatif enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Oluşumu sırasında havadaki CO₂'yi tüketmesi ve içerdigi küllürlük miktarı bakımından kirlenme potansiyeli düşük bir yakıt olan biyokütlede enerji eldesi gözetilmediği de Biyokütle kısa sürede üretilmediği için yenilenebilir bir enerji kaynağı alternatifidir. Akişkan yatak teknolojisi bu yakıtların karışımını etkin ve temiz bir şekilde değerlendirmek açısından önemli bir seçenek olarak ortaya çıkmıştır. Ancak birden fazla bileşen içeren akişkan yataklarda, bileşenlerin yoğunluk ve boyut farkları ayrışmaya ve buradan da aglomerasyona neden olabilir.

Bu çalışmada linyit-prina karışımları akişkan yataklı bir yakıcıda yakılarak, birlikte yanma sırasındaki sıcaklık dağılımları, karışma ve ayrışma mekanizmaları ile gaz yayınımları incelenmiştir. Yatak malzemesi olarak kumun kullanıldığı deneyel çalışmalarda 10 cm gapında bir akişkan yatak kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada; linyit-prina karışma oranı, kömür tanecik boyutu, yatak malzemesi tanecik boyutu ve hava fazlası miktarı değiştirilmiştir. Değişkenlerin değerleri; karışımdaki linyit miktarı; %100, %75, %50 ve %25, kömür tanecik boyutu; +1.0-1.9 mm, +1.9-2.7 mm ve +2.7-3.3 mm, yatak malzemesi boyutu; +0.3-0.6 mm, +0.6-1.0 mm ve +1.0-1.4 mm, hava fazlalık oranı; %10, %20 ve %30 şeklindedir.

Deneyel sonuçlar, her orandaki linyit-prina karışımının birlikte yanabildiğini göstermiştir. Yatak içindeki sıcaklık dağılımlarından sistemin linyit-prina yüzüsen zengin bir davranım gösterdiği ve ayrışmada etkin olan parametrelerin tanecikler arası yoğunluk farkı olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca prinanın düşük küllürlükten dolayı karışım içindeki prina miktarı arttıkça SO₂ yayınımlarında önemli bir düşüş görülmüştür. Deney sonuçlarından NO_x yayınımlarının gelişen her şartta düşük değerlerde kaldığı anlaşılmıştır. CO yayınımları genelde 500-1500 mg/m³ aralığında kalmış ve O₂ derişiminin azalmasıyla artış göstermiştir.

THE INVESTIGATION OF COMBUSTION CHARACTERISTICS AND EMISSIONS OF SEVITOMER LIGNITE-OLIVE CAKE MIXTURE IN A FLUIDIZED BED COMBUSTOR

SUMMARY

It is necessary that energy provision should be made as efficient and environmentally friendly as possible. Since the Turkish lignites, which are one of our most significant energy sources, are generally classified as low-grade coals, they have a high polluting potential. In this respect, alternative energy sources are needed. Energy production from biomass, which has a low polluting potential due to the consumption of CO₂ in the atmosphere during its formation and its low sulphur content, should also be considered. Additionally, biomass can be produced by cultivation in short time and this makes it a renewable energy source. The fluidized bed technology offers an effective and environmentally friendly method of making use of the lignite-biomass mixture. However, in fluidized beds with more than one component, the differences in the density and particle size of the components may result in segregation and thereby agglomeration.

In this study, lignite-olive cake mixtures were burned in a fluidized bed combustor and the temperature profiles, the mechanism of mixing and segregation, and the gas emissions were investigated in the course of co-combustion. The experimental studies, were sand was used as the bed material, were carried out by using a fluidized bed of 10 cm i.d. In this study, the lignite-olive cake mixture ratio, the coal particle size, the bed material particle size and the excess air ratio were selected as the experimental parameters. The values of parameters were as follows; the lignite portion in mixture; %100, %75, %50 and %25, the coal particle size; +1.0-1.9 mm, +1.9-2.7 mm and +2.7-3.3 mm, the bed material size; +0.3-0.6 mm, +0.6-1.0 mm and +1.0-1.4 mm, excess air rate; %10, %20 and %30.

Experimental results showed that lignite-olive cake mixtures may burn in all proportions. From the temperature profiles in the fluidized bed, it was understood that the system shows a lignite-olive cake flow rich behavior and the effective parameter on segregation is the density difference between particles. Additionally due to the low sulphur content of olive cake, an important decrease in the SO₂ emissions was obtained as the amount of the olive cake was increased in the mixture. From the experimental results, it may be understood that the NO_x emissions remain at low values for all the operating conditions studied. The values of the CO emissions generally remained between 500-1500 mg/m³ and increased with a decrease in the O₂ concentration.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Enerji, kelime anlamıyla iş yapabilmek gücüdür ve bu yüzden de geçmişten bu güne insan yaşamının en büyük gereksinimlerinden biri olmayı sürdürmektedir. Bununla birlikte günümüzde enerji kullanımı, tüm çevre problemlerinin nedenlerini içinde barındıran evrensel ve ekolojik bir sorun olarak da karşımıza çıkmaktadır. Dünyada ve ülkemizdeki en büyük enerji tüketim kaynaklarından olan petrolün önemli çevre sorunlarına yol açmasının yanı sıra bugünkü kullanım hızıyla yaklaşık 50 yıllık kullanımıyla kaynağının tükenmesi olmuştur (Anonim-1, 1993), ülkelerin enerji politikalarını gözden geçirmeleri, kısa ve uzun vadeli planlar yapmalarını gerektirmektedir. 1983 yılında Birleşmiş Milletler Genel Kurulu kararıyla kurulan Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun "Ortak Geleceğimiz" isimli raporunda enerji politikaları belirlenirken dikkat edilmesi öngörülen kilit öğelerden biri enerjinin kaynakları kaybını en aza indirerek enerji verimini artırmak, diğer de kirlenmeyi önleyerek biyosferi korumak olarak gösterilmiştir (Anonim-2, 1989).

Yapılan çalışmalar, ülkelerin kendi potansiyellerini bilerek ve yerli kaynaklara dayanarak enerji üretimi yapmaları gerektiğini göstermiştir. Ülkemiz için bu kaynaklardan birisi fosil yakıtlardan olan linyitlerdir. Fakat ülke ortalamalarına bakıldığında linyitlerimiz düşük kaliteli oldukları, yani yüksek nem, kül, küllük oranlarına karşılık düşük ısı değeri içerdikleri görülmektedir (Arnoğlu ve Yücel, 1984). Tüm bu özellikler, bu kömürlerin klasik yakma sistemleriyle yakılmasını hem yavaşlatır hem de yüksek kirlilik potansiyelleri içermesinden dolayı olumsuzdur. Bu kirliliklerden; başta küllük oksitler olmak üzere azot oksitler ve diğer asit yağmurlarını oluşturan temel bileşenler, CO₂'nin de sera etkisini yaratan en önemli gaz olduğu bilinmektedir. Asit yağmurları, sudaki sera etkisine neden olduğu kirlilikle, sera etkisi de küresel ısınmaya ve iklim değişimlerine neden olmakla tehlike yaratmaktadır. Asit yağmurları ve sera etkisi doğayla birlikte onun bir parçası olan insanların sağlığını da tehdit etmektedir.

Nitekim linyitlerimiz endüstriyel ve ısıma amaçlı olarak kullanıldığı bölgelerimizde yoğun bir hava kirliliği yaşanmakta ve bu özellikle kış aylarında ölümcül boyutlara ulaşmaktadır. İşte bu noktada akışkan yataklı yakma sistemleri; linyit ve diğer benzeri düşük kaliteli katı fosil yakıtların daha etkin ve çevreyi en az kirlilecek şekilde değerlendirilmesi için önemli bir teknolojik seçenek olarak ortaya çıkmıştır. Bu sistemlerde yüksek yanma verimlerine ulaşılrken, aynı zamanda SO_2 , NO_x gibi kirlleticilerin yayımları kontrol edilebilmektedir.

Aynı zamanda, günümüzde kullanılmakta olan birincil enerji kaynaklarının hızla tükenmekte oluşu, enerji gereksiniminin karşılanması için alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları bulmaya yönelik çabaları da yoğunlaştırmıştır. Bu durumda büyük tarım alanlarına sahip olan ülkemizde tarım ürünlerinden veya bunların işlenmesi sonucu ortaya çıkan tarımsal atıklardan enerji üretimi önem kazanmaktadır. Dünya enerji tüketiminin %15'i biyokütle yakıtlardan sağlanırken ülkemizde bu kaynak hiç de etkin kullanılmamaktadır. Tarımsal atık kaynaklı yakıtların küktürt içerikleri çok düşüktür ve yakıldıklarında ortaya çıkan karbon, aynı miktar biyokütle tarafından geri alınmaktadır. Bu nedenlerle, bu yakıtların SO_2 ve CO_2 baz alındığında kirlitici etkisi linyitlere göre çok daha düşüktür. Kaydadegere bir SO_2 ve CO_2 azalması için enerji üretiminde katı fosil yakıtlarla birlikte büyük miktarda biyokütle yakıtlar da kullanılmaktadır. Bu yakıtların ikili yanması konusunda halihazırda bir AB projesi yürütülmekte ve çeşitli orjinli kömürlerle lağım gamuru, tarımsal atıklar gibi biyokütle yakıtların ortak yakılmalarının etkileri araştırılmaktadır (Hein ve Bemtgen, 1998).

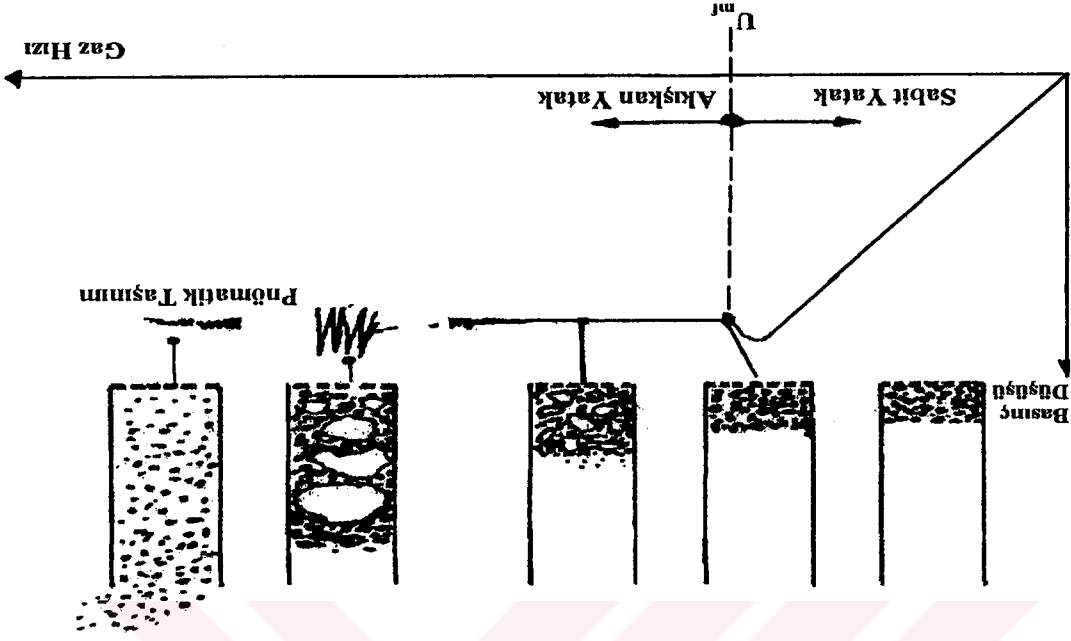
Bu çalışmanın amacı, Seyitömer linyiti ile bir biyokütle yakıt olan prina (zeytin küspesi) karışımlarının çeşitli çalışma şartları altında akışkan yataklı yanma davranımlarının araştırılmasıdır. Bu yakıtların karışım halindeki yanabilirlikleri, yatak içindeki sıcaklık dağılımları ve yanmanın gerçekleşmesi sırasında ortaya çıkan gaz yayılım miktarlarındaki değişimler gözlenerek hem ülkemizin verimli kullanılmayan enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması hem de yanma sonucu ortaya çıkan kirlitici gaz yayımlarının daha düşük seviyelere çekilebilmesi konuları değerlendirilecektir. Ayrıca akışkan yataklı yakma sistemlerinin varolan avantajları daha da geliştirilerek, mevcut enerji üretim teknolojisi kısmen yenilenebilir hale getirilmeye çalışılacaktır.

2. AKIŞKAN YATAK TEKNOLOJİSİ

2.1. Akışkanlaşma ve Akışkan Yatak

Akışkanlaşma, sıvı veya gazla temasa geçirilen katı taneciklerin akışkan özellikleri taşıyan bir hale dönüştürülmesidir. Bu olay, kullanılan belirli boyuttaki katı taneciklerin ağırlığına düşmesini önleyecek ve alttan basılan akışkanın yukarı geçişinde büyük bir basınç düşüşüne neden olmayacak şekilde tasarlanmış delikli bir plakaman üzerinde duran katı tanecik yığını içinden geçirilen bir akışkan yardımıyla gerçekleştirilir (Howard, 1989).

Şekil 2.1'deki gibi, küçük taneciklerden oluşmuş bir yatağın içinden yukarıya doğru bir akışkan geçirildiğinde, bu akışkanın hızının değiştirilmesiyle farklı rejimlerle karşılaşılar. Düşük akış debilerinde, akışkan hareketli tanecikler arasındaki



Şekil 2.1. Akışkanlaşma Aşamaları (Howard, 1989).

boşluklardan süzülür. Bu durumda sisteme sabit yatak denir. Akış debisindeki artışla tanecikler sınırlı bir alanda birbirlerinden ayrı bir şekilde hareket eder ve titreşmeye başlarlar. Yatağın bu haline genleşmiş yatak adı verilir. Daha da yüksek bir hızda, bütün taneciklerin, yukarıya doğru hareket eden akışkanın içinde asılı kaldıkları bir noktaya ulaşılır. Bu noktada, tanecik ve akışkan arasındaki sürtünme kuvveti tanecikğin ağırlığı ile dengededir; komşu tanecikler arasındaki sıkıştırma kuvvetlerinin dikey bileşenleri yok olur ve yatağın herhangi bir bölgesindeki basınç düşüşü aynı bölgede bulunan taneciklerle akışkanın ağırlığına eşitlenir. Bu aşamada akışkanlaşmanın başladığı kabul edilir ve bu duruma minimum akışkanlaşma, bunu sağlayan hız da minimum akışkanlaşma hızı adı verilir. Akış debisi arttırılmaya devam ederse, belirli bir hızda geliştiğinde önce küçükler olmak üzere tanecikler yataktan dışarı taşınmaya başlarlar. Taneciklerin taşınmaya başladıkları bu hızda terminal hız denir. Terminal hızın üzerindeki hızlarda sistem bir pnömatik taşıma sistemine döner (Kunii ve Levenspiel, 1977). Bu durumda sistemin minimum akışkanlaşma hızı ile terminal hız arasında akışkan yatak davranımı gösterdiğini söylenebılır.

Bir akışkan yatak sistemi en genel olarak rüzgar odacığı, dağıtıcı elek ve yanma odası olarak adlandırılan üç temel bölümden oluşmuştur. Rüzgar odacığı, eleğin altında kalan bölge olup gazın yatışkın bir şekilde yatağa girmesi için kullanılır. Gerekliği durumlarda ön ısıtma amacıyla LPG'nin akışkanlaştırıcı gazla karışmasının da sağlandığı bölümdür. Rüzgar odacığı ile yanma odası arasında yer alan dağıtıcı eleğin görevi ise akışkanlaşma başlamadan önce yatak malzemesini taşımak, akışkanlaşma sırasında ise havanın tekdüze bir şekilde dağılmasını sağlamaktır. Yanma odası ise dağıtıcı eleğin üzerinde bulunan ve akışkanlaşma işlemi ile yanmanın gerçekleştiği bölgedir. Genellikle ısıya dayanıklı çelik malzemeden yapılmış silindirik veya dikdörtgenler prizması şeklinde bir gövdedir. Yatağın iç cidarı refrakter bir malzemeyle örtülür. Odanın kömür ve yatak malzemesinin karıştığı alt bölgesine "aktif yatak", bu bölgenin üstüne ise "serbest bölge" adı verilir. Isının önemli bölümü aktif yatak bölümünde gerçekleştirilen, ucu maddeden aşağıdan sürüklenen küçük boyutlu, düşük yoğunluklu kömür taneciklerinin yanması ile serbest bölgede gerçekleşir. Bu temel elemanların yanında kömür besleme, kül çekme, fan, siklon, ateşleme ve kontrol üniteleri gibi ek bölümler de bulunmaktadır.

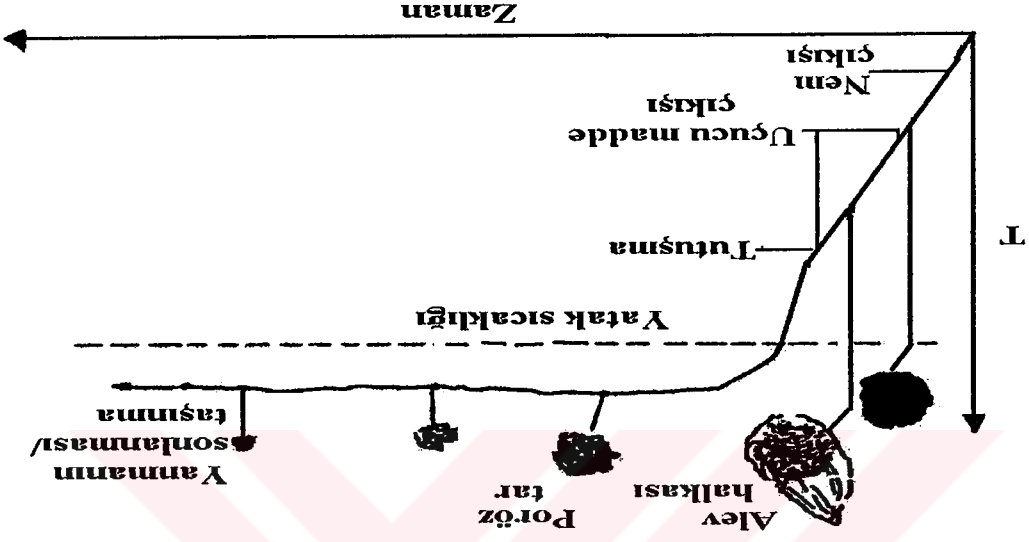
2.2. Akışkan Yatakta Yanma

İdeal şartlarda, yakıt olarak saf karbon kabul edilir ve sisteme teorik miktardan bir miktar daha fazla verilen hava ile reaksiyona girerek yanmanın tamamlanmasını sağlar. Bu durumda yanma ürünü olan karbondioksit (CO_2), su buharı (H_2O), azot (N_2) ve hava fazlası sistemi atık gazlarla beraber terkederken, ısı (Q) sistemden çevreye transfer olur. Fakat gerçekte bütün katı yakıtlar çok karmaşık bileşenlidir; karbon, hidrojen, küllük, azot, klorin ve alkali metal tuzları ile nem gibi diğer inert veya aktif bileşenler içerirler. Bu gibi yakıtların yanması CO_2 , H_2O , O_2 ile birlikte NO_x , SO_x gibi atmosferik kirleticiler veya korozyif, buharlaşabilen bileşenlerin (H_2SO_4 , HCl) de ortaya çıkmasına neden olur. Bunun da ötesinde, yakıttaki inert küll ortadan kalkmaz, bir kısmı gıkan kirleticilerle birlikte tanecikler halinde atık gazla taşınırken geri kalan kısmı da sistemde kalır ve mekanik olarak alınmaları gerekir. Ayrıca bu durumda tam yanma gerçekleşmez ve CO , yanmamış hidrokarbonlar (HC) ile yanmamış karbon tanecikleri de atık gazda yer alır. Yani alınması mümkün olan ısının tamamı klasik sistemlerde alınmaz (Howard, 1989).

Buna karşın akışkan yataklı yakma sistemleri, düşük kaliteli kömürler, linyitler, bitümlü şistlerden, tarım ve sanayi atıklarıyla şehir çöpleri gibi biyokütle yakıtlara kadar çok geniş aralıktaki malzemeleri verimli bir şekilde yakabilmeler (Cooke, 1984). Akışkan yatakta yanma; içinde yakıtın tutuşma sıcaklığına kadar ısıtılmış küll, kireçtaşı veya dolomit benzeri inert maddelerin bulunduğu havayla akışkanlaştırılmış yatağa yakıt beslenmesiyle gerçekleşir (Beér, 1976). Normal gelişme şartlarında yataktaki yakıt miktarı tüm malzemenin %1-2'si kadardır; böylece inert tanecikler ısıyı yanan taneciklerden alır ve onların sıcaklığını küllün ergime sıcaklığının altına düşürür (Howard, 1989). Ayrıca yüksek miktarda inert maddenin hava ile hızlı bir şekilde karışması sonucu akışkan yataklarda yüksek ısı ve kütle iletim katsayılarına ulaşılır, meydana gelen türbülansla gıkan ısı hızla yatağa dağılır ve böylece bir sıcaklık dağılımı sağlanır (Fan, 1989). Yatak sıcaklığı genelde $750-1000^\circ\text{C}$ arasında değişmektedir; burada alt sınır kömürün tutuşma sıcaklığı ve kararlı yanmanın sağlanması, üst sınır ise sistemin aglomere olmayacak şekilde gelişmesinin sağlanmasıdır. Bu sınırlamaların dışında bu sıcaklık aralığının başka nedenleri de vardır (Beér, 1976, İkinci, 1981, Howard, 1989):

olup, iyi bir yanma için yeterli miktarda hava sağlanmaktadır. İlk başta yakıtın nemi uzaklaşır ve tanecığın sıcaklığı hızla uçuşu maddenin ayrılmaya başlayacağı değere ulaşır. Bu sıcaklıkta uçuşu maddeler yanabilir buharlar şeklinde ortaya çıkarlar. Geriye kalan üzerindeki bir miktar kütle beraber, temelde gözenekli karbon olan yarıkoktur.

Şekil 2.2. Akışkan Yatakta Yanmanın Aşamaları (Howard, 1989).



Şekil 2.2. akışkan yatağa beslenmiş tek bir katı yakıt tanesinin yanması sırasında gerçekleşen olaylar dizisini ve sıcaklık değişimlerini göstermektedir. Yatak ısıtılmış artar.

yanan tanecikler boyutları küçüldükçe sıcaklaşır ve yatak sıcaklığıyla aralarındaki fark üzerinde (Roscoe ve diğ., 1980). Yates ve Walker (1978)'in bulduğu sonuçlara göre, Akışkan yataklarda, yanan tanecığın sıcaklığı ise yatak sıcaklığının 100-200°C yakıtta bulunan vanadium benzeri tehlikeli metallerin erimesine neden olabilir.

4. 1000°C'nin üzerinde sıcaklıklar küledeki alkali metal tuzlarının buharlaşmasına ve

transfer kapasitesini düşürebilir.

3. 850°C'nin üzerinde küllün erimesiyle kömür ısı transfer yüzeylerine yapışarak ısı

yayınmaları olmakta, havanın azotu oksijenle birleşmemektedir.

2. 1000°C'nin altındaki sıcaklıklarda sadece yakıtın azotundan kaynaklanan NO_x

tutucular 900-950°C arasında en iyi verimle kullanılırlar.

1. Yanmayla ortaya çıkan karbon dioksiti tutmak için kullanılan kireçtaşı, dolomit gibi

Tutuşma sıcaklığına ulaştığı anda yarıkok yamaya başlar. Fakat şekilde de görüldüğü gibi bunun için gereken süre uçucular için gereken kadar uzundur. Yamma; yamacı bileşenler bitene veya tanecek yataktan taşınana kadar devam eder; bu arada taneceğin boyut ve yoğunluğunda da yakıtın özelliklerine bağlı olarak bazı değişimler olur (Howard, 1989).

Pillai (1981) tutuşma sıcaklığına ($> 650^{\circ}\text{C}$) kadar ısıtılmış bir akışkan yatağa atılmış bir kömür taneceğinin geçirdiği aşamaları şu şekilde gözlemiştir:

1. Tanecek önce yatak sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa kadar ısınır. Bu sırada tanecek kor gibi parlak bir yatağın içinde siyah olarak görünmektedir. Yaklaşık 3 saniye süren bu aşamada tanecek kömür tipine bağlı olarak gözle görülür oranda şişebilir.

2. Daha sonra yatağa göre daha soğuk olan taneceğin çevresi parlak bir alevle çevrilir. Bu alev sonlanana kadar tanecek yatağa göre daha koyu renkte kalır. Taneceğin etrafındaki alevle çekildiği görülür, fakat taneceğin özellikle düşey yöndeki hareketleri ucuca maddesini yitirmiş bir taneceğe göre çok yavaştır. Eğer yanan kömür veya yarıkok düşük uçuculuysa bu adım çok kısa sürebilir ya da hiç olmaz. Bu adım alevin sönmesiyle sonlanır ve sabit sıcaklıkta ucuca maddelerin çıkış adımı sayılabilir.

3. Ucuca alevinin bitmesi ile birlikte taneceğin düşey hareketinde ani bir artış olur ve tanecek yatağa gömülmeğe başlar. Bu arada oksijenin yüzeye difüzyonunu sırasında küçük reaksiyonlar oluşur.

4. Bu aşamadan sonra taneceğin sıcaklığında hızlı bir artış olur. Çevresindeki yatak malzemelerine göre daha koyu olan taneceğin rengi artık daha parlaktır. Bu parlaklık beslenen havanın artmasıyla belirginleşir.

Bu sırada, reaksiyonun taneceğin yüzeyinde veya içinde gerçekleşmesine bağlı olarak, tanecek yammasını sürdürürken boyut değişimine uğrayabilir. Burada üç farklı durum söz konusudur:

(a) Yammayla birlikte taneceğin boyutunun da adım adım azaldığı ve sonunda küllün tabaka halinde çıktığı durum (yarıkoklar, koklar, antrasitler).

Çıkan uçucu maddenin yanmasından sonra kalan katı kısım (yarı-kök), yataktan taşınana ya da bitene kadar yanar. Bu kısmın yanması uçucu maddenin tersine

hızının artması da bu süreyi kısaltan bir parametredir (Atımtay, 1987). artması kısalmasına neden olur (Ulkan ve Arıkol, 1994, İkinci ve diğ., 1988). Hava Nauze, 1982). Ayrıca kömürün nem içeriği bu süreyi uzatırken, yatak sıcaklığının yanma süresi arasında t_v=ad" şeklinde bir ilişki olduğu görülmüştür (Pillai, 1985, La (İkinci ve diğ., 1988, Pillai, 1981). Deneysel çalışmalar sonucunda, tanecik çapı ile arasında değiştiği, yüksek ranklı büyük parçalarda 60 saniyeye ulaştığı görülmüştür Yapılan çalışmalarda bu sürenin çesitli değişkenlere bağlı olarak 3-15 saniye Arıkol, 1994). Uçucu madde yanması, yarıkök yanmasına göre çok kısa sürmektedir. bulunan tanecikler, daha sonra yatağa batma eğilimindedirler (Atımtay, 1987, Ulkan ve parlak, tüy şeklinde bir alev oluşur. Uçucu madde yanması boyunca yatak yüzeyinde girmez uçucu maddesini kaybetmeye başlar. Bu sırada kömür tanecığının etrafında çıkıp gaz fazda oksijenle birleşmesiyle sınırlanır (La Nauze, 1982). Kömür yatağa girer fraksiyonlarından karşılanır. Uçucu madde yanmasında hız, uçucu maddenin kömürden Yanma boyunca çıkan toplam ısının önemli bir bölümü de kömürün uçucu sonuqlara uyum göstermektedir.

Saha (1990) ile Tomeczek ve Remarczyk (1980)'nin yaptıkları çalışmalarda bu sabit yoğunluklu büzüşen tanecik olarak modellenileceğini göstermişlerdir. Halde ve sonuc tanecik boyutundaki değişimin, tanecığın içine oksijen nüfuzu olmasına rağmen kabul eder. Jung ve La Nauze (1983) iki farklı kömürle yaptıkları çalışmada yanma Akışkan yataktaki çöğü yanma modeli kömürün büzüşen tanecik şeklinde yandığını Tanecikler yataktan taşınmaya ya da karbon tükeninceye kadar yanmayı sürdürürler.

(c) Yanma boyunca tanecik boyutunun sabit kaldığı fakat zaman zaman daha küçük kırımlalar daha sonra da devam edebilir (yüksek küllü kömürler).

(b) Yanma sonuqlanana kadar boyutta bir değişimin görülmediği, yanma bittiğinde neredeyse aynı boyutta küllün kaldığı durum. Fakat kül daha sonra çesitli etkenlerle parçalanabilir (bitümlü kömürler).

dakikalarca sürebilir. Akışkan yataкта yanan bir yarı-kok tanecikini gözönüne aldığımızda üç temel reaksiyonun gerçekleştiği görülür:



Waters (1975) yarı-kok yanması için kurduğu temel mekanizmada, tek film modeliyle karbon taneciklerinin direkt olarak oksijenle reaksiyona girerek CO ve CO₂ oluşturduğunu açıklamıştır. Avedesian ve Davidson (1973) tüm reaksiyonların çok hızlı gerçekleştiği kabulüyle teorik argümanları temel alarak iki film modelini gerçekleştirmişlerdir. Bu modele göre karbon yüzeyinde oluşan CO karbondan dışarıya difüze olurken yanan taneciğe doğru difüze olan oksijenle homojen gaz faz reaksiyonuna girer ve oksijen taneciğe ulaşmadan tüklenir.



Bu reaksiyonda oluşan karbondioksidin bir kısmı dışarıya difüze olurken, bir kısmı da karbon yüzeyine geri difüze olarak endotermik bir reaksiyonla okside olur.



Buna karşı, Basu (1985) bu modelin ilk reaksiyonunun sonunda tüm oksijenin tükendiği kabulüne karşı çıkar. Buna göre oksijen karbon yüzeyine difüze olur ve ulaşmayı başarır. Karbonla olan heterojen reaksiyonun sonucunda CO ve CO₂ oluşur. CO daha sonra karbon çevresindeki difüzyon alevi içinde CO₂'ye okside edilir.



Yukarıdaki her iki gelişmeye göre de normal gelişme sıcaklıklarında yama hızı difüzyon kontrolüdür. Chakraborty ve Howard (1978)'in dnyesel sonuçları kimyasal

Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip oldukları toplam ağırlığı olarak tarif edilebilir. Biyokütle asıl olarak karbon, hidrojen ve oksijenden yapılanmış karbonhidrat bileşenlerden oluşur.

2.3.1. Biyokütle ve Biyoenerji

2.3. Akışkan Yataklı Biyokütle Yanması

acıklamışlardır. Yanma verimi elde etmişler ve kayıpların en büyük nedenini taşıma olayları olarak (1991), düşük kaliteli Türk linyitleriyle yaptıkları çalışmalarda %93-99 aralığında bir verimini düşürür (Saxena ve diğ., 1992, Saxena ve diğ., 1997). Selçuk ve Kırmızıgül akışkanlaştırma hızının artmasıyla yanmamış karbon miktarı artar, bu da yanma konsantrasyonunu artırır ve yanma verimini yükseltir. Yakıt besleme ve Sabit bir yakıt besleme hızı ve 1100 K sıcaklıkta hava miktarının artması, CO sıcaklığı artıktı, yanma kalitesi de artar ve 1000 K'nın üzerinde iyi bir yanma sağlanır. Yataklı sıcaklığı artıktı CO ve O₂ konsantrasyonları düşerken, CO₂ artar. Yani yataklı Düşük sıcaklıklarda karbonun tam yanmamasından dolayı büyük miktarda CO oluşur. Yataklı mlzemesinin boyutu ve yataklı yüksekliliği.

parametreleri ise: toplam hava (hava fazlası miktarı), yataklı sıcaklığı, yakıt besleme hızı, parametreleri. Belirli bir kömür ve yakıcı için, yanma verimini etkileyen gelişme kategoride toplanabilir: yakıt parametreleri, gelişme parametreleri ve tasarruflar karbonun yataklı taşımasıdır. Yanma verimini etkileyen parametreler üç genel yanmayarak CO'ya dönüşmesi, ucu maddelerin tamamen yanmaması ve yanmaması ve çıkan ısılar arasında fark olmasının çeşitli nedenleri vardır. Bunlar C'nin tam giren ısıya oranıdır. Kömür gibi asıl olarak karbon ve hidrojen içeren maddelerde giren Akışkan yataklı yakıcılar ısı yanma verimi belirli bir zaman aralığında çıkan ısısın

daha küçük tanecikler için kimyasal kinetik önemli olabilir. Yanma hızı 2 mm'den büyük gapli taneciklerde esas olarak difüzyonla sınırlanırken, Davidson (1984)'a göre ise yanma tanecik dış yüzeyine yakın gözeneklerde olur ve difüzyon hem de kimyasal kinetikle sınırlandığını iddia etmektedir. Turnbull ve kinetiğin daha baskın olduğunu göstermekteyken, Jia ve diğ. (1993) yanma hızının hem

Son aşamada gezegendeki fotosentez yoluyla üretilen canlı maddelerin tümüdür ve güneş enerjisinin fotosentez yardımıyla depolanması sonucu oluşmaktadır. Fotosentez ise güneş radyasyonunun etkisi ile organik maddelerin sentezlenmesi ve kimyasal enerjinin depolanmasıdır (Werekö-Brobby ve Hagan, 1996).

Bioenerji ise, bitkilerin fotosentezi sırasında kimyasal olarak özellikle karbonhidrat şeklinde depo edilen güneş enerjisidir. Dünya yüzeyine düşen güneş enerjisi 3 milyar EJ (72.10^{15} TEP)'dur. Bu enerjinin yaklaşık %0.1 kadarı biyokütleyle dönüştürülerek depolanmaktadır (White ve Plaskett, 1981). Fotosentezde üretilen organik madde asıl olarak karbonhidrattır ve bu kuru madde oksijenle yakılırsa açığa çıkan ısı yaklaşık 16 MJ/kg demektir (Türe ve diğ., 1994). Odun, hayvan, insan ve tarım ürünleri artıkları; alkol ve metan mayalanması ile geçitli bitkiler gibi canlı kaynaklar yoluyla elde edilen enerji türlerine biyokütle enerjisi denmektedir (Gürsoy, 1999). La Nauze'nin (1987) biyokütle yakıtları dört ana kategoride sınıflandırması Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Yanabilir Biyokütle Türleri (La Nauze, 1987).

1. Tarımsal/Ormansal Ürünler .Turba .Odun atıkları, ağaç kabukları .Talaş .Pirinç kabuğu .Pamuk, ayçiçeği, mısır ve benzeri tarım atıkları	2. Gıda Prosesi Atıkları .Elek atıkları, kaba atıklar .Kahve ve çay atıkları .Küspe .Aktive edilmiş atıklar .Bitkisel atıklar	3. Kağıt Hamuru ve Kağıt .Hamur sıvısı .Birticil beyazlatma tortusu .Aktive edilmiş tortul atıklar	4. Şehirsel ve Diğer Atıklar .Kanalizasyon suları .Çöp ve göpten üretilen yakıtlar .Endüstriyel biyokütle atıklar
---	--	---	--

Biyokütle yakıtların kimyasal bileşimleri ve fiziksel yapıları akışkan yataklı yakma sistemlerinin tasarımı da etkiler. Oksijen içerikleri kömüre göre çok farklı olduğundan, stokiyometrik hava gereksinimleri de farklıdır. Aynı zamanda biyokütleler kömüre göre çok fazla uçucu madde içerirken, çok daha az sabit karbona sahiptirler; bu yüzden uçucu madde ve sabit karbonu bitirmek için gereken hava

kömür için bulunanla aynı olduğu görülmüştür. Çalışmalar sonucu tanecik boyutuyla, uçucu madde yanma süresi arasındaki ilişkinin boyutundan bağımsızken, boyut büyüdüğüçe süre boyuta bağımlı olmaktadır. Deneyssel sınırlandırıldığında dolayı uçucu madde gıkış süresi küçük tanecikler için tanecik gözlemlenmiştir. 1 mm'den küçük tanecikler için proses kinetik olarak maddeler ve katı kısım şeklinde ayrıştığını ve ürün gazlarının çıktığını kondüksiyon ve radyasyonla ısı transferi olduğunu, devamında biyokütlenin uçucu ve diğ. (1999), önce taneciğ konveksiyon ve radyasyonla, daha sonra taneciğ içinine yarıtkok yanmasıdır. Bir biyokütle taneciğinin uçucu madde gıkışını inceleyen Di Fleice aldığımızda, başlıca yanma adımları; nem gıkışı, uçucu madde gıkışı ve yanması ile bir düzeye ulaşamamıştır. Biyokütle yakıtların akışkan yatakta yanmasını gözönüne biyokütle yanma özellikleri hakkında çok az çalışma yapılmıştır ve bu çalışmalar yeterli yakıcılarda kömür yanması bazı eksiklerine rağmen geniş ölçüde çalışılmışsa da, ile Kanury (1994) tarafından ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır. Akışkan yataklı Biyokütle yakıtların genel yanma özellikleri ve karakteristikleri Jenkins ve diğ. (1998)

2.3.2. Biyokütle Yanması

enerji bitkileri denilmektedir; bu bitkilere örnek olarak tatlı sorgum verilebilir. diğer bitkilere göre mevsimsel kuraklığa daha fazla dayanıklı olan C4 tipi bitkilere olarak kullanılan, düşük karbondioksit yoğunluklarında bile fotosentez yapabilen ve Bunların dışında yüksek oranda güneş ışığı alan bölgelerde yetişen, suyu çok verimli miktar ve yanabilirlik açısından geniş bir dağılım gösterdiği söylenebilir.

Yani; bitkiler, ağaçlar, otlar gibi büyüyen tüm organik maddeler ve bunların hasadı ya da kullanımından oluşan yan ürünler potansiyel enerji kaynaklarıdır ve toplu halde biyokütle olarak adlandırılır. Bunların yanında enerji elde etmek için kullanılacak şehirsel ve endüstriyel organik atıklar da vardır. Bu potansiyel yakıtların elde edilme,

miktarı da kömüre göre farklıdır. Biyokütle türlü yakıtlar kömüre göre daha düşük ısı değer ve yoğunluğa sahip oldukları için yakıt depolama ve besleme sistemlerinin tasarımı yüksek besleme debilerine göre yapılması gerekmektedir. Aynı zamanda bu yakıtlar çok farklı boyut ve şekillerde olabileceklerinden, sistemin tasarımı bu fiziksel farklılıklara da uygun olmalıdır. Biyokütlenin yoğunluğunun kömüre göre çok daha düşük olmasından dolayı yataktan taşıma ihtimali vardır. Oldukça yüksek nem ve uçucu maddede içeriklerine sahip olmaları da yanmanın üst bölgelerinde yoğunlaşma eğilimini kuvvetlendirir. Bunu önlemek için yakıtı briketlemek, doğrudan yatağa beslemek ve yatak yüzeyine ikincil hava beslemek gibi yollara başvurulabilir (Cook, 1984).

Biyokütle yakıtların tek başlarına veya başka yakıtlarla birlikte yakılmasıyla yanmayı etkileyen geçitli parametreler vardır. Gıda prosesi atıklarından biri olan preslenmiş ve yağı alınmış zeytinin katı atığı (prina), 19.5-25.5 MJ/kg civarındaki ısı değeri ve yüksek ısı değeriyle alternatif bir biyokütle yakıttır. Akışkan yatağa prina yakılması, karbonun oksijenle girdiği reaksiyonun hızı sıcaklıkla arttığından, yatak sıcaklığındaki artış yanma verimini arttıran bir parametredir. Yakıt besleme debisi belirli bir değerin üzerine çıktığında, yakıt- hava oranının bozulmasından dolayı yanmayı olumsuz etkilemektedir. Tanecik boyutunun artması taşımayı azalttığından yanma veriminde artışa neden olmaktadır (Khraisha ve diğ., 1998, Abu-Qudais, 1996).

Bazı atıkların ısı değerleri sabit sıcaklıkta sürekli yanmayı sağlayamaya yetmeyeceğinden, özellikle bu tür yakıtlara uygun olan ikili yakma uygulamaları vardır. Bu tür uygulamalarda; Saxena (1998) ile Saxena ve Dewan (1996) en önemli gelişme parametrelerinin yakıt besleme hızı, hava hızı, yatak sıcaklığı ve hava fazlası miktarı olduğunu göstermişlerdir. Beslenen hava miktarının stokiyometrik oranın iki katı olması durumunda yüksek verim elde edilirken, bu diğer parametrelerin etkilerini gizleyebilir. Hava hızındaki artış, minimum akışkanlaşma hızının iki katına ulaşana kadar yanma verimini önemli ölçülerde etkilemekte ancak daha sonra bu etki oldukça zayıflamaktadır. Mısır koçanı ve kömür karışımının yakılmasıyla yapılan çalışmada, yüksek ısı transfer katsayısı nedeniyle yatağa düşük fakat tekdüze bir yanma sıcaklığının sağlanabildiği ve NO_x yayınımlarının düşük kaldığı gözlemlenmiştir (Shafey ve Taha, 1992).

2.4. Akışkan Yatakta Yanmanın Avantaj ve Dezavantajları

Geleneksel yakma sistemleri ile karşılaştırıldığında akışkan yataklı sistemler birçok üstünlüğe sahiptirler (La Nauze, 1985, Kunii ve Levenspiel, 1977):

1. Çok farklı özelliklere sahip, düşük kaliteli yakıtları akışkan yataklarda yakmak mümkündür, yakıt/inert madde oranı çok küçük olduğundan sistemdeki yanma süreci yakıtın özelliklerine (kül, nem içeriği vb.) bağlı değildir.

2. Akışkan yataklarda gaz ve katı teması çok etkin bir şekilde gerçekleştiğinden yüksek ısı iletim katsayılarına ulaşılması ısı iletim yüzeylerinin küçük olmasını sağlar. Bu sayede yakma ünitelerini daha küçük boyutlarda ve daha ucuza üretmek mümkün olur.

3. Akışkan yatak içerisinde kömür derişimi çok düşüktür (%2-5). Kömür tanecikleri adeta bir sıvı davranımı gösteren inert tanecik ortamında yüzmektedir. Bu hem etkin bir yanma sağlar, hem de kömür beslemesini kolaylaştırır. Bu sayede bu sistemlerde düşük kaliteli yakıtlar değerlendirilebilir.

4. Yüksek sıcaklıklarda azot oksitleri havanın oksijen ve azotundan kaynaklanır. Düşük operasyon sıcaklıkları NO_x oluşumunu azaltır. Akışkan yataklı sistemlerde yanma diğer sistemlere göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştiğinden NO_x emisyonu hemen hemen sıfır kömürün yapısındaki azottan kaynaklanır.

5. Küllü dioksit yayılımı yakıttaki küllüttten kaynaklanır. Akışkan yatağa kireçtaşı, dolomit gibi tutucular eklenerek en tehlikeli çevre kirlenici unsur olan SO_2 yayılımını kontrol edilebilir. Bu yöntem ekonomik ve teknik olarak, küllü dioksidin yanma gazlarından yıkılarak uzaklaştırıldığı yöntemlere tercih edilmektedir.

6. Akışkan yataklı sistemleri kullanarak kombine buhar-türbin çevrimi yolu ile güç üretimini, daha küçük boyutlardaki ünitelerde, daha düşük maliyetlerle gerçekleştirmek mümkün olur.

7. Enerji girdisi maliyeti düşüktür.

Daha iyi akışkanlaşma şartlarının sağlanması için akışkanlaşmada en önemli değişkenlerden biri olan tanecek dağılımı geçitli ölçütlerle sınıflandırılmıştır. Yapılan çalışmalar içinde en çok kabul göreni Geldart'ın (1986) sınıflandırması olmuştur. Bu çalışmada Geldart tanecekleri yoğunluk ve boyutlarını temel alarak Şekil 2.3'de görüldüğü gibi dört ana gruba ayırmıştır.

2.5. Katı Taneceklerin Sınıflandırılması

5. aglomerasyon tehlikesi.
 4. katkı maddelerinden kaynaklanan katı atıkların taşıma güçlükleri,
 3. ilk işletme güçlükleri,
 2. ilk yatırım giderlerinin yüksekliği,
 1. Tasarım güçlükleri,
- Yine aynı kaynaklarda akışkan yataklı sistemlerin bu sayısız üstünlüklerinin yanında bazı olumsuzlukları olduğunu da görüyoruz. Bunlar şu şekilde açıklanabilir:
1. Kömür yakan sistemlerde kömürün yapısında bulunan alkali tuzları buharlaşarak ısı iletim yüzeylerinde birikir ve korozyona neden olur. Akışkan yataklı operasyon sıcaklıkları daha düşük olduğundan bu tip korozyon daha az olur.
- daha düşük olur.

10. Yakma işlemi, pulverize yakma sistemlerine göre daha büyük boyuttaki taneceklerle yapıldığından, boyut küçültme ve yakma öncesi hazırlık maliyetleri

9. Taneceklerin düzgün, sıvımsı akışı ve katıların havayla hızlı karışımıyla sağlanan neredeyse izotermal davranış operasyonlarının kolay kontrol edilmesini sağlar.

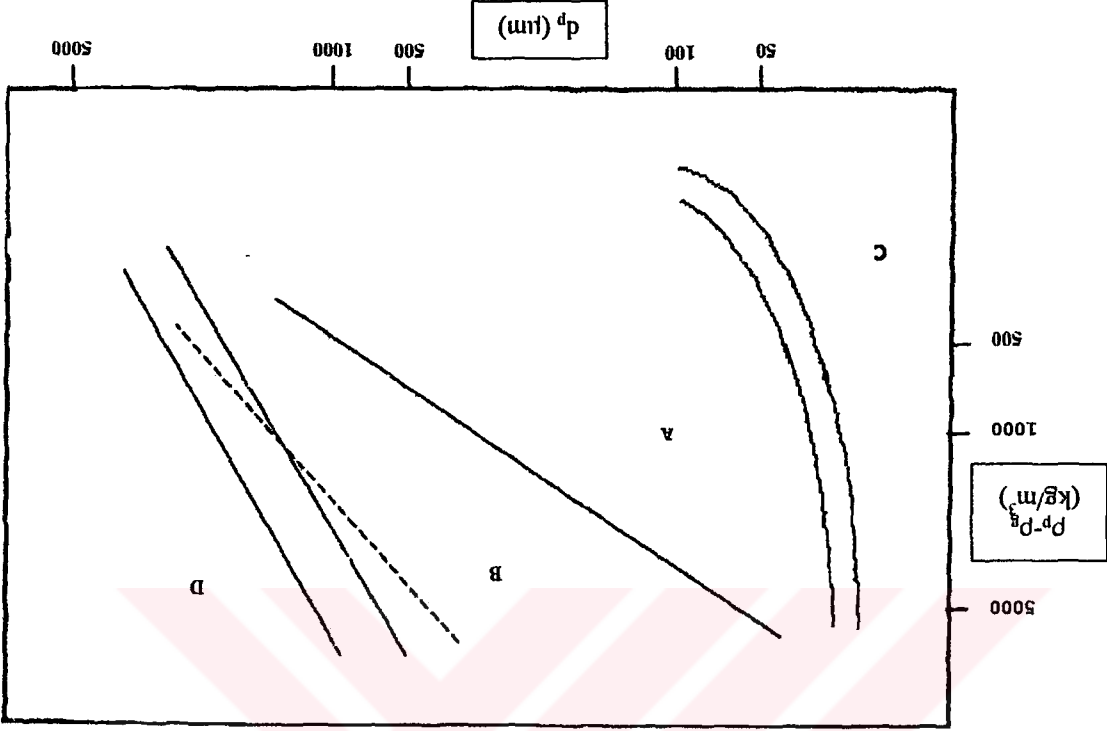
8. Yanma sıcaklığı düşük olmasına rağmen, hava ve yakıt etkin bir şekilde karıştırıldığında, %90-99'a varan yanma verimi elde edilir ve aktif yataklı tekdüze bir sıcaklık dağılımı sağlanır.

A Grubu: Tanecik boyutu genellikle 50-500 μm arasında değişmektedir. Katalitik parçalanma ünitelerinde kullanılan katalizör tanecikleri bu grubun tipik örnekleridir. Ancak habbeleşme başlangıç hızı üzerindeki hızlarda bu kararlı durum bozulmakta ve yatak yüksekliği ile boşluk oranı düşmektedir. Yoğun faz boşluk oranı minimum akışkanlaşma anındaki ile habbeleşmenin başlangıç anındaki arasında bir değer almaktadır. Çok az bir habbeleşme ile görece bir karışma sağlamak mümkündür. A grubu taneciklerden oluşan yataklarda habbe boyutu; ortalama tanecik boyutu, sıcaklık ve basınçtan etkilenmektedir. Yoğun fazla habbe fazı arasında hızlı bir gaz alışveriş gerçekleşmektedir. Bu durumun habbelerin bölünüp birleşmesinden kaynaklandığı sanılmaktadır. Habbeler yoğun fazdaki gaz hızından daha büyük bir hızla hareket etmektedir. Operasyon hızının yüksek, yatak çapının çok küçük olması durumunda slug akış söz konusu olmaktadır. Operasyon hızının 0.5-1.5 m/s değerleri arasında seyrettiği durumlarda sistem bir taşıma sistemi haline gelmektedir. Hızın daha da artırılması durumunda tanecikler sürüklenmeye başlar.

B Grubu: Ortalama boyut ve yoğunlukları; $60 \mu\text{m} < d_p < 500 \mu\text{m}$ ve $\rho_p = 1-4 \text{ g/cm}^3$ arasında olan katı tanecikleri bu gruba girer. Kum, bu grubun en iyi bilinen örneğini oluşturur. A grubu taneciklerinin aksine, bu grupta tanecikler arası çekim kuvvetleri ihmal edilebilmektedir. Bu taneciklerin oluşturduğu yataklarda minimum akışkanlaşma hızının hemen üstünde habbeleşme başlamaktadır. Yatak genleşmesi azdır. Habbe yokluğunda taneciklerin dolaşımı hemen hiç yoktur. Habbelerin yoğun gaz hızından daha büyük bir hızla hareket etmektedirler. Habbe boyutu, yatak yüksekliği ve akışkanlaştırıcı gaz hızının artması ile büyümektedir. Aynı minimum akışkanlaşma hızı ve yatak yüksekliği için habbe boyutu; ortalama tanecik boyutu ve boyut dağılımına bağlıdır. Yoğun fazla habbe fazı arasındaki gaz alışveriş hızı düşüktür. Çok büyük gaz hızlarında slug akış görülmektedir. 1-3 m/s'lik hızlarda sistem taşıma sistemine dönüşmektedir.

C Grubu: Bu gruba giren tanecikler genellikle 30 μm 'den küçük olup, tanecikler arası çekim kuvvetlerinin büyük olduğu taneciklerdir. Normal bir şekilde akışkanlaştırılmaları oldukça güçtür. Tanecikler arası elektrostatik çekim güçlerinden dolayı, bu taneciklerden oluşmuş yataklarda ya habbeler birleşip tüm kesit alanını

Şekil 2.3. Katı Taneciklerin Sınıflandırılması (Geldart, 1986).



D Grubu: Bu gruba büyük ve yoğun tanecikler oluşturulmaktadır. Tanecik boyutu genellikle $500 \mu\text{m}$ 'den büyüktür. Habbe hızı yoğun fazdaki gaz hızından düşüktür. Bu nedenle gaz, habbeye alttan girerek üstten terkeder. Böylece fazlar arasında, A ve B grubu için gözlenenden farklı bir gaz alışverişi gerçekleşir. Yoğun fazdaki gaz hızı yüksektir, buna karşılık karışma zayıftır. Tanecik boyut aralığının geniş olması durumunda, yüksek hızlarda bile ayrışma görülebilir. Taneciklerin atalet momentinin büyük, tanecikler arası temas yüzeyinin küçük olması nedeniyle aglomerasyon eğilimleri zayıftır. Bu taneciklerin bulunduğu yataklarda dağıtıcı elek civarında yatay yönde boşluklar oluşmaktadır. Bu durum küçük çaplı yataklarda bir çeşit piston akışa, büyük çaplı yataklarda ise habbeleşmeye neden olmaktadır. Piston akışla sürüklenen tanecikler, hareketin bozulmasından sonra cidara yakın bölgelerde aşağıya doğru akarlar. Slug akış, 3 m/s 'den sonra genellikle bozulur ve türbülent akış oluşur.

Karışma ve ısı iletim özellikleri, A ve B grubuna göre daha kötüdür. Dolayısıyla yatak basınç düşüşü kuramsal değerler altında kalmaktadır. kapaçarak darbeli ve kararsız bir akışa neden olmakta veya kanallaşma meydana

2.6. Akışkan Yatakta Karışma ve Ayrışma

Son yıllarda, aynı ya da yaklaşıp boyutlardaki birden çok tanecik türünün kullanıldığı gaz akışkan yatak teknolojisi uygulamalarında gelişmeler görülmüştür. Geniş boyut aralığındaki farklı yoğunluklardaki tanecik türlerinin birbirlerine göre farklı hareket ettikleri durumlarda ise karışma ve ayrışma eğilimleri arasında dinamik bir denge oluşmaktadır. Bazı akışkan yatak işlemlerinde iyi bir karışmanın sağlanması istenirken, bazılarında farklı türlerin ayrışması ve bazılarında ise sistemin farklı bölümlerinde her ikisinin de oluşması istenir (Nienow ve Chiba, 1985).

2.6.1. Akışkan Yataklarda Karışma Mekanizması

Gaz-katı karışımı akışkan yatakların temel prensibini oluşturdugundan; akışkan yatak operasyonlarının etkinliği, yatak içi karışmanın kalitesi tarafından önemli ölçüde etkilenmektedir. Tanecik karışımı hem kesikli hem de sürekli akışkan yatak tasarruflarında önemli olup, yataktaki taneciklerin eksene ve radyal yönde taşınmaları aşağıdaki durumları etkileyebilir (Baeyens, Geldart, 1986):

- a) Gaz-katı temasını
- b) Reaksiyon bölgesiyle ısı transfer yüzeylerinin bulunduğu bölge arasındaki termal gradiyeni
- c) Isı aktarım katsayılarını
- d) Katı besleme-taşma borularının yer ve sayısı
- e) Dağıtıcı elek bölgesindeki ölü alanların varlığını ve boyutlarını.

Akışkan yataklarda karışma konusunda karşılaşılan sorunlar, katı tanecikler ve akışkanlaştırıcı gazın özellikleri ile akışkan yatağın tasarruflarından kaynaklanır. Bunlar arasında en önemlileri katı taneciklerin özellikleri, esas olarak da boyut ve yoğunluk farklarıdır; çünkü akışkan yataklar genelde farklı özellikler taşıyan tanecik gruplarından oluşmaktadır. Bu durumda, farklılıkları ve bunlardan doğan problemleri dört kategoride toplayabiliriz:

1. Aynı boyut ve yoğunlukta tanecikler.
2. Aynı boyutta fakat farklı yoğunlukta tanecikler.

Serbest habbeli yataklarda habbelerin farklı yönlerde birleşebilmesinden dolayı uniform olmayan habbeler dağılım modelleri oluşmaktadır. Duvarlara yakın bölgelerde genelde habbe oluşmaz. Başlangıçta dağıtıcı elek civarlarında duvara oldukça yakın olan

ve birleşmelerinin sonucu olan yanal hareketlerden de kaynaklanır (Shen ve Zhang, 1998). Akışkan yataklarda katı karışımı sadece habbelerin düşey hareketi ve yatak yüzeyindeki olduğu yerde yukarıya doğru, eğer habbeler yoksa aşağıya doğru hareket ederler. Tanecikler bir süre yatakta taşınır ve daha sonra dökülür. Yani tanecikler habbelerin katılıp sürüklenmesiyle, habbe çukurlarında ve habbe içinde taşındığını gösterir. Bu şekilde tanımlanabilir. Bu çalışmalar ideal durumlarda taneciklerin habbenin önüne habbeler genellikle üst tarafı küresel, altı ise içeriye doğru bastırılmış sönük bir top iki boyutlu yatağa hava beslenerek taneciklerin dağılımını fotoğraflamıştır. Burada gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda renkli ve renksiz tanecik tabakalarının bulunduğu mekanizması üzerine yapılan ilk çalışmaların çoğunu Rowe ve Partridge (1962) değişik bölgelerinden geçmesiyle gelişigüzel ve karışık bir karışma sağlar. Karışma dökülmesiyle birlikte yatak yüzeyine taşır. Farklı boyutlardaki geçişli habbelerin yatağın habbe yatağın tabanına yakın bölgelerden bir tanecik dalgası yakalayıp, bir miktar akışkan yataklarda dikey karışım yanal karışımından çoğu zaman daha hızlıdır. Her bir aracılığı ile olur (Kunii ve Levenspiel, 1977, Davidson ve diğ., 1985). Bilindiği gibi Akışkan yataklarda karışma, dağıtıcı elekten oluşan ve yatak içinde yükselen habbeler

zamanında yatak ve kolon geometrisi de bu durumda önem taşımaktadır. Yoğunluğu, nemliliği (yapışkanlığı) ve boyut dağılımı da önemli bir rol oynar. Aynı ayırma derecesi esas olarak gaz hızına bağlı olsa da; taneciklerin şekli, boyutu, olup olmadığı da önemlidir. Tanecik sirkülasyon miktarı ve bölgesel karışım veya dışındaki taneciklerin herhangi bir yerdeki bölgesel dağılımının genel ortalamaya eşit imal edecek kadar yüksek olmasının sağlanabilmesiyken, diğer gruplarda bununla ilk grupta asıl problem katı tanecik taşıma ve sirkülasyon akışının sıcaklık gradyanını

4. Hem boyutları hem de yoğunlukları farklı tanecikler.
3. Aynı yoğunlukta fakat değişik boyutlarda tanecikler.

Tablo 2.2. küçük kabullerle şu şekilde basitleştirilebilir: Bir yoğunluk farkı olmadığında büyük tanecekler batışandır; eğer bir yoğunluk farkı varsa, yoğun bileşen batışandır. Bu ifade hem 1. hem de 2. durumu kapsar. 3a durumu ise esasında bir akışkan yataktan çok sabit yatağı ifade eder. 3b durumunda ise, çok küçük fakat yoğun tanecekler sadece büyük taneceklerin arasından geçebilecek veya buralarda bulunabilecek kadar küçük boyut ve orandalarla yüzleşen olabirler (Chiba ve diğ., 1980). Bu durumda bile, çok büyük ve hafif tanecekler çok iyi akışkanlaştırılmışsa, yoğun tanecekler batışan hale dönerler.

Bütün taneceklerin gaz ile tam temasla olup iyi akışkanlaştığı öngörülen bir yatakta yerel özelliklerin genel ortalamaya uymamasından dolayı ayrışma olabilir. Ayrışma değişik tanecekler arasında büyük bir sürüklenme/birim ağırlığı farkı olduğunda oluşur. İkili sistemler akışkanlaştırıldığında, farklı boyut veya yoğunlukta taneceklerin ayrışma eğilimi konsantrasyonda yukarıdan aşağıya bir değişime yol açar. İki bileşenli sistemlerde yüksek sürüklenme/birim ağırlığa sahip taneceklerden oluşan bileşen yüzeye hareketlenirken düşük olan tanecekler dağıtıcı eleğe doğru giderler. Eğer taneceklerin sadece boyutları farklıysa, büyük tanecekler dibе göker. Bu konuda sayısız çalışmaları olan Rowe ve Nienow (1976) yoğunluk farkından doğan ayrışmalarda yatağın üst tarafında ve tabanında bulunma eğilimindeki tanecekler için sırasıyla yüzleşen ve batışan kelimelerini kullanmışlardır. Bu tip eğilimler çok bileşenli sistemlerde de görülür (Nienow ve diğ., 1978). İkili sistemler için hangi bileşenin batışan olduğunu gösteren bazı basit kurallar Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

2.6.2. Akışkan Yataklarda Ayrışma

habeleler merkeze yakın habeleler tarafından çekilirler. Bu yüzden habelelerin yatağın merkezine hareket olanağı yüksek ve duvara doğru hareketleri ise düşüktür. Duvara yakın habelelerin az olmasının sonucu olarak, buralardaki tanecekler baskın olarak aşağıya doğru düşerler. Katı taneceklerin bu geri akışı habelelerin yatağın ortalarına doğru hareket eğilimini sürdürmesine neden olur. Bu faktörler yapılan habbe dağılımı çalışmaları sonucu bulunan karakteristik habbe akış profilleri için oldukça güvenilirdir.

Tablo 2.2. İki Bileşenli Sistemlerde Taneciklerin Davranımı (Chiba ve diğ., 1980).

1.Durum	Boyut oranı : ~1	2.Durum	Büyük bileşen >> küçük bileşen Küçüklerin oranı: %100	2a	Büyük bileşen, küçük bileşenden daha yoğunsa; büyük tanecikler batışandır.	2b	Küçük bileşen daha yoğunsa; küçük tanecikler batışandır.	3.Durum	Büyük bileşen >> küçük bileşen Büyüklerin oranı: %100	3a	Büyük bileşen küçüklere göre daha yoğunsa; küçük tanecikler yataktan taşınır.	3b	Küçük bileşen daha yoğunsa; her ikisi de batışandır.
---------	------------------	---------	---	----	--	----	--	---------	---	----	---	----	--

Bu kurallar çok basit olduğundan, çoklu sistemlerde de uygulama bulabilir. Çok geniş bir boyut aralığını kapsayan bir tür gözönünde tutulursa, büyük taneciklerin batışan, inceletin ise yüzüsen eğiliminde oldukları görülür. Buna karşılık, bir yoğunluk farkı mevcutsa, yoğun bileşen daha düşük minimum akışkanlaşma hızına sahip olsa da batışandır. Refrakter kumun yatak malzemesi olduğu bir akışkan yatakta kuma göre yoğun olan bitümlü şist ve hafif olan kömürden oluşan üçlü bir sistemde; kum kömüre, bitümlü şist ise her ikisine göre de batışandır (Nienow ve diğ., 1978).

Ayrışmanın niteliksel ölçümü için daha çok şu iki parametre kullanılır:

$$i) \text{ Ayrışma katsayısı: } C_s = \left(\frac{x_B - x_T}{x_B + x_T} \right) \cdot 100 \quad (2.5)$$

x_B ve x_T : yatağın alt ve üst yarısındaki ilgilenilen madde konsantrasyonu. C_s % -100 ve +100 arasında olabilir; %0 mükemmel karışmayı gösterir.

$$ii) \text{ Karışma indeksi: } M_I = \frac{x}{x} \quad (2.6)$$

x : maddenin yatağın incelenen herhangi bir seviyesindeki konsantrasyonu

$\bar{x}$: maddenin ortalama konsantrasyonu

Burada gaz hızı U yükseleliğe z ve buna bağlı olarak M_1 da yükseleli. Gerçi göreceki olarak düşük hızlardaki küçük tanecikler için geliştirilen bu eşitlik büyük tanecikli sistemlere ve 5 m/s'ye kadar olan hızlara da başarıyla uygulanabilir (Geldart, 1981).

$$M_1 = \frac{x}{x} = \left(1 + e^{-z}\right)^{-1} \quad (2.9)$$

$$z = \frac{U - U_{to}}{U_{to}} e^{U_{ms}/U_{to}} \quad (2.8)$$

bulunmasında kullanılır:

Hesaplanan U_{to} daha sonra aşağıdaki formüller kullanılarak karışma indeksi M_1 'nin H ve D yatağın yükseleliği ve çapı; U_{to} ayrışmadan önce karışmanın kritik hızıdır. yoğunlukları; d_m ve d_L boyutları; x yoğun taneciklerin tüm yataktaki kütle fraksiyonu; Burada U_{ms} ve U_{ms} iki tanecik grubunun minimum akışkanlaşma hızları; p_m ve p_L

$$\frac{U_{to}}{U_{ms}} = \left(\frac{U_{ms}}{U_{ms}} \right)^{1.2} + 0.9 \left(\frac{p_L}{p_H} - 1 \right)^{1.1} \left(\frac{d_L}{d_H} \right)^{0.7} - 2.2 \sqrt{x} (1 - e^{-H/D})^{1.4} \quad (2.7)$$

sonra aşağıdaki kompleks deneysel eşitlik geliştirilmiş ve kullanılmaktadır:

Nienow ve Rowe'nin ağır ve hafif taneciklerle yaptıkları geçitli kombinasyonlardan

bulmuşlardır. Bu Chen ve Keairns'in (1975) çalışmalarıyla uyum göstermektedir. miktarda olduğunu, yoğunlukta kaynaqlanan ayrışmanın ise daha belirgin olduğunu hızlarda yatak yükseleliği boyunca tanecik boyutundan kaynaqlanan ayrışmanın az taneciklerin bulunmasından kaynaklanır. Delebarre ve diğ. (1994) çalışılan bütün Ayrışma çözü zaman boyut aralığının genişliğinden çok yataktaki farklı yoğunlukta

2.6.2.1. Yoğunluk Farkından Kaynaklanan Ayrışma

ermesine neden olur.

kati bir kütle haline gelmeleridir ve aglomerasyonun olması sistemindeki yanmanın sona olabilir. Aglomerasyon, kömür ve yatak malzemesi taneciklerinin birbirlerine yapışarak uygulamalara iyi bir örnektir, çünkü bu durum yakma sisteminde aglomerasyona neden duruma geri akışkanlaşma denir. Akışkan yataklı yakıcılar ayrışmanın istenmediği Ayrışmanın son aşamasında yatağın bir kısmının veya tamamının hareketisizleştiği

2.6.2.2. Boyut Farkından Kaynaklanan Ayırma

Tam akışkanlaşma hızı U_{cr} 'den büyük bir operasyon gaz hızı sağlandığında dağıtıcı elektrik üzerinde bir sabit yatak bölgesi oluşmaz. Fakat bu yatağın iyi karıştığı anlamına gelmez; büyük taneciklerin göğü tabana, küçüklerin göğü yüzeye yoğunlaşarak ayrışma meydana gelebilir. Geldart ve arkadaşları (1981) 550µm'den çok daha büyük taneciklerle 5 m/s'lik hızla kadar çalışmışlar ve boyut farkından doğan ayrışmanın büyük tanecikli yatakları esas özellikleri olarak ortaya çıkıgını iddia etmişlerdir. Bu söyledikleri şu durumlarda gittikçe büyür:

i) ince taneciklerin boyutu küçüldükçe

ii) yataktaki katıların ortalama boyutu artıkça

iii) $U - U_{mf}$ değeri sıfıra yaklaştıkça.

Bununla birlikte, yoğunluk farkından kaynaklanan ayrışma hızla azalırken, boyut farkından U_{mf} değerinin 2 m/s'den büyük olduğu durumlar) hızla azalırken, boyut farkından kaynaklanan ayrışma ise göreceli olarak sabit kalır. Yatay boruların varlığı, ince taneciklerin geri beslenmesinin dağıtıcı eleğe yakın yapıldığı çalışmalarda küçük farklar meydana getirir. Akla yatkın bir hipoteze göre tanecikler yukarıya doğru üç mekanizmayla, aşağıya doğru ise tek mekanizmayla taşınırlar. Bu mekanizmalar:

1. İnce taneciklerin terminal hızını aşan hızlarda kanallar veya habbelerle sürüklenmesi.

2. Habbelerle yukarı sürüklenen habbe çukuru içindeki ince taneciklerin yığın (bulk) hareketi.

3. Yoğun fazdaki taneciklerin arasındaki boşluklardan ince taneciklerin sıyrılması.

4. Aşağıya doğru hareket ise ince taneciklerin yığın hareketinin habbesiz bölgedeki yoğun faza yakalanması ile gerçekleşir.

Bu mekanizmalar boyuta göre ayrışmanın hızı neden daha duyarlı olduğunu açıklıyor. Yukarı taşıma mekanizmaları 1 ve 2 ile geri aşağı taşıma mekanizması 4, gaz hızı ile arttıklarından, bunlar kendilerini iptal etme eğilimindedirler.

Büyük taneciklerin boyutları büyürse, belirli bir superficial gaz hızı ve ince tanecik fraksiyonu için; biraz boşlukların boyutu büyüdüğünden ve bir de interstitial gaz hızı (en azından $U_{mf}^{e_{mf}}$) arttığından, mekanizma 3'ün hızı artar. Aşağı hareket mekanizması ise karışmayı yöneten $U-U_{mf}$ değeri azaldığı için azalır. Bu değişkenlerin niceliksel bağlantıları Geldart ve arkadaşları (1981) tarafından şu şekilde önerilmiştir:

$$\frac{x_f}{x_{fop}} = \left(\frac{d_f}{d_p} \right)^a \left(\frac{U - U_{mf}}{U_{mf}} \right)^b \quad (2.10)$$

Wu ve Baeyens (1998) farklı boyutlu, eşit yoğunluklu ikili sistemlerde yaptıkları çalışmalarda, üst bölgelerdeki ince taneciklerin taşınma olasılığından dolayı geniş boyut aralığındaki taneciklerle yapılan çalışmalarda üst bölge ayrışmalarına daha fazla önem verilmesi gerektiğini söylemişlerdir.

2.6.2.3. Yüzüsen ve Batısan Zengin Sistemler

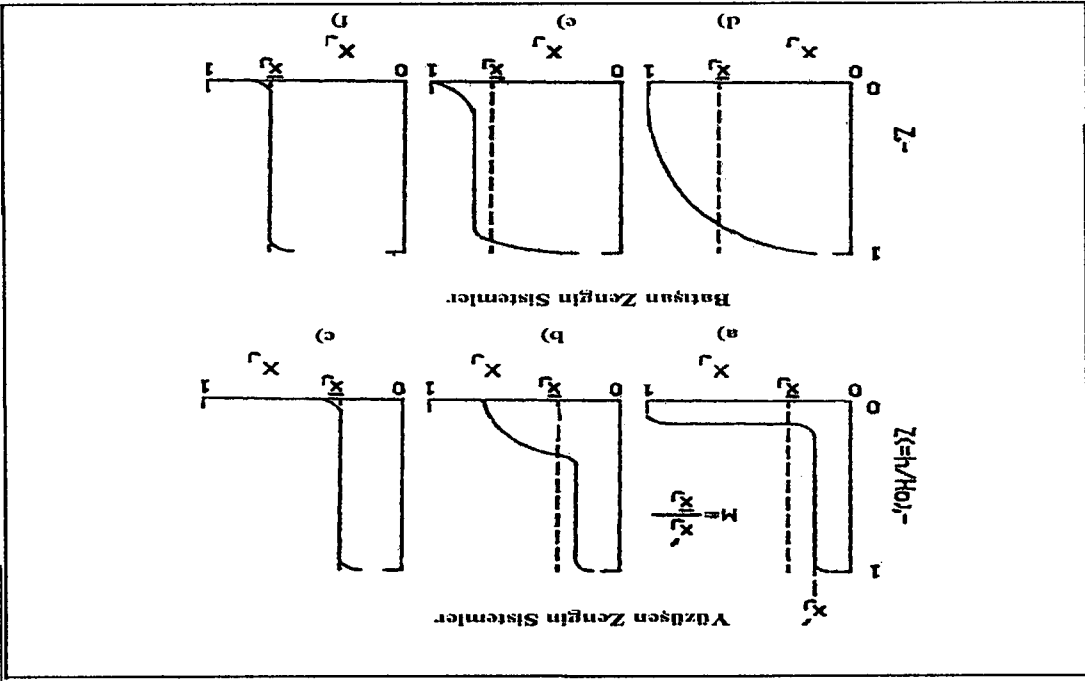
Tablo 2.2'deki tanımlanan basit yüzüsen zengin kuralları birinci ve ikinci durumlara uygulandığında; batısan madde hacminin %50'den az olduğu ikili karışımlarda Şekil 2.4-a-c'de gösterildiği gibi bir ayrışma modeli elde edilir. Alt minimum akışkanlaşma hızının az üstündeki hızlarda yatağın üst kısımları oldukça homojen fakat düşük konsantrasyonda bir batısan dağılımı içerirken, altlarda tamamen batısan bir tabaka oluşur (Şekil 2.4.a). Artan gaz hızıyla üst kısımlardaki batısan konsantrasyonu artar ve alt tabakada bir konsantrasyon gradyeni oluşmaya başlar (Şekil 2.4.b). Gaz hızı daha da arttırıldığında -gerçekte mümkünel bir karışım hiç olmayacak olsa da- tüm yatak homojen bir karışma eğilimine girer (Şekil 2.4.c).

Eğer batısan taneciklerin miktarı hacmen %50'nin üzerinde olursa, ayrışma modelinin şekli de tamamen değişir. Bu durum için idealize edilmiş modeller Şekil 2.4-d-f'de gösterilmiştir ve gaz hızındaki artış burada da gelişen bir karışma sağlar. Bu ayrışma modellerini ölçmek için önerilen bir karışma indeksi yoktur. Batısan zengin sistemlerin yüzüsen zengin sistemlerle karşılaştırıldığında en dikkat çekici farkı derişimin yatak yüksekliği ile kademele bir değişim gösterdiği ve düşük hızlarda bile tamamen yüzüsen bir tabakanın olmayışıdır.

Atakül (1986) ile Tolay (1994) sıcaklık farklarından linyit yakan akışkan yataklarda sistemin ayrışma derecesini ölçmüşlerdir. Ekzotermik reaksiyonların hakim olduğu yama proseslerinin gerçekleştiği kömür yakan akışkan yataklarda, yatak boyunca bölge arası sıcaklık farklılıkları oluşabilir. Kötü bir karışma ve/veya kuvvetli bir ayrışma durumunda bu sıcaklık farkları büyüyebilir ve dağıtıcı eleğin üzerindeki değişik seviyelerdeki sıcaklıklar ölçülerek gözlemlenebilir. Bu sıcaklık farkları yama sırasında çıkan ısının yatak içerisinde ne kadar tekdüze dağıldığını ve yatağın ne kadar etkin karıştığını gösterir. Linyitlerin akışkan yataklarda yakılması, bu yakıtın yüksek kül ve uçucu madde içeriğine sahip olmalarından ve aynı damarda bile çok farklı fiziksel ve kimyasal özellikler göstermelerinden dolayı problemli olabilmektedir. Sistemdeki iki bileşen arasında bir yoğunluk veya boyut farklılığı olduğunda ayrışma olayı gerçekleşebilir ve bu durum yamanın linyit zengin bölgede yoğunlaşmasına ve sıcaklığın artmasına neden olarak sistemi aglomerasyona götürebilir. Aglomerasyon, yakıtın sinterleşme sıcaklığına bağlı olan ısı bir olay olduğundan, yatak sıcaklık profili yama prosesinin istikrarı konusunda önemli bilgiler sağlayabilir ve ayrışmanın önceden gözlemlenebilmesi sisteme karar istikrarlı bir yama rejimini olurtmak için kullanılabilir.

2.6.3. Ayrışma Eğilimlerinin Sıcaklık Profilleriyle İncelenmesi

Şekil 2.4. Ayrışma Rejimleri (Nienow ve Chiba, 1985).



Enerji tüketimi artan bir hızla devam ettiği ve özellikle yapılarında C, H, O, S ve N gibi temel elementleri içeren fosil yakıtlar kullanıldığı sürece, yanma sonucu oluşan atmosfere verilen CO₂, CO, SO₂ ve NO_x yayımları önemli çevre kirliliği problemleri yaratmaktadır. Ülkemizde kullanılan katı fosil yakıtların başında 8 milyar tonun

2.7. Yanma Sonucu Oluşan Çevre Kirliliği ve Kontrolü

Ekinci ve diğ. (1988), yaptıkları çalışmada linyit taneciklerinin boyutunun yatak içi sıcaklık dağılımına önemli bir etkisinin olmadığını gözlemlemişlerdir. Kömür besleme debisinin sabit tutulup hava hızının artırıldığı durumlarda ise, yatak sıcaklığının başlangıçta düşmesine rağmen daha sonra bir miktar artış gösterdiği ve sonunda azaldığı saptanmıştır. Bir akışkan yatakta hava hızına paralel olarak yatak sıcaklığının da artması, yanma veriminin artmasıyla açıklanabilir. Bu durumda her iki ayrışma sisteminde de daha iyi oksijen-kömür temasından dolayı karışma artacaktır. Fakat bir değerden sonra hava fazlasının soğutucu etkisi ve kömür taneciklerinin taşınmasının artmasından dolayı ısı kaybı olacak, sistem soğumaya başlamaktadır. Bu gelişmanın sonuçlarına göre serbest bölge yanmasında, sistemdeki bileşenlerin yoğunluk ve boyut oranlarıyla tanımlanan ayrışma eğilimi etkisi yakıtın uçuşu madde içeriğine göre daha

baskın bulunmaktadır.

Ekinci ve diğ. (1990), 1-2 mm ile 4-5 mm boyutları arasındaki linyitle 0.1-0.4 mm ile 0.7-1.0 mm boyutları arasında yatak malzemesi kullandıkları çalışmalarda, linyit külünün yüzüştürülen zengin olduğu durumdan, batışan zengin olduğu kadar genişli rejimler gözlemlemişlerdir. Karışmanın kalitesi dağıtıcı eleğin aktif yatak içindeki sıcaklık dağılımından izlenirken, serbest bölge ile aktif yatak arasındaki sıcaklık farkı da linyit batışan sistemlerin ayrışmasının belirlenmesi için iyi bir yöntem olmuştur. Aktif yatak içindeki sıcaklık dağılımı linyit taneciklerinin boyutu arttıkça bozulmaktadır ve alt bölgelerdeki sıcaklıklar üst bölgelere göre çok daha yükselebilir. Bu durum linyit konsantrasyonunun ve yanmasının yatağın alt bölgelerinde olmasının bir sonucunu işaret eder. Linyit yüzüştürülen zengin sistemler için ise tanecik boyutundaki artış bu iki bölge arasındaki sıcaklık farkının azalmasına neden olur ve bu daha iyi bir karışmayı ifade eder. Bu aynı zamanda serbest bölge ile aktif yatak arasındaki değeri artırır ve yanmanın serbest bölge sıcaklığı üzerindeki etkisini gösterir.

Kireçtaşı veya dolomit gibi tutucuların kullanılmasıyla sebebi kolayca bulunabilmesi ve ekonomik olmasıdır. Bu tutucular aşağıda verilen mekanizma ile kükürt dioksit gazlarını yatağın içinde tutarak bacadan dışarıya daha az miktarda çıkmasını sağlamaktadır. Kireçtaşı için bu temel mekanizma önce kireçtaşıyla kalsine olması, daha sonra da bunun kükürt dioksit ve oksijenle birleşerek kalsiyum sülfat haline dönüşmesidir (Mulligan ve diğ., 1989). Dolomit için durum biraz daha karışık olmakla beraber benzer prensiplere dayanmaktadır.

Atmosfere yayılan SO_2 çıktığı bölge kadar, kilometrelerce ötede ki bölgeleri de etkilemektedir. Bu yüzden yama sonucu açığa çıkan SO_2 'nin çeşitli reaksiyonlarla tutularak atmosfere ulaşması engellenmelidir. Akışkan yataklı sistemlerde kireçtaşı veya dolomit gibi tutucular (sorbentler) doğrudan yatağa beslendiğinde, bu işlemler ek bir ünite gerektirmez ve akışkan yataklar bundan dolayı klasik yakma sistemlerine göre daha avantajlıdır. Klasik sistemlerin aksine tutucu taneceklerin temas süreleri daha uzun olur ve buna bağlı olarak da kullanım etkinlikleri daha yüksektir.

2.7.1. SO_2 Yayını

Çevre açısından en büyük sorunlardan birisi kömürlerin içerdiği kükürdün yama sırasında kükürt dioksitlere dönüşmesidir. 1986 yılı için yerli linyitlerin kullanımından kaynaklanan SO_2 yayını 1,6 milyon ton olup toplam yayının %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır (Plink ve diğ., 1992). Bir diğer kirlenme türü olan azot oksitler özellikle ozon tabakası açısından olumsuz bir etkiye sahiptir. Ülkemizdeki NO_x yayınının %50'si ulaşım, %20'si ise enerji sektöründen gelmektedir. Fosil yakıtların yama sonucu ortaya çıkan karbon dioksit yayını ise özellikle son 50 yılda büyük bir artış göstererek son yıllarda atmosferik sera etkisine neden olmaktadır. Bunların dışında yama sonucu gazlarla beraber atmosfere atılan küller de önemli miktarda kirlenmeye yol açıp, tüm sıyırma sistemlerine rağmen tutulamayan çok küçük tanecekler insan sağlığı için büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Ayrıca tutulan küllerin yüksek ağır metal içeriği yeraltı sularını etkileyip, doğal hayat açısından tehlike yaratmaktadır.

Üzerindeki rezervlerle linyitler gelir. Ülkemiz linyitleri düşük ısı değerleri ve yüksek kükürt, nem, kül içerikleri ile büyük bir kirlenme potansiyeline sahiptirler.

Azot oksitler, canlı yaşamı için tehlikeli ve asit korozyonunu hızlandıracı olduklarından dolayı önemli hava kirleticilerdendir. Akışkan yataklı sistemlerin en büyük avantajlarından birisi de düşük NO_x yayımları elde edilebilmesidir. Düşük emisyon eldesinin sebebi kısmen düşük yanma sıcaklıklarında çalışılması, kısmen de akışkan

2.7.2. NO_x Yayımları

söylenmektedir.

900°C arasında çalışıldığında kireçtaşı veya dolamitin sülfür tuzuna etkinliğinin arttığını gerçekleştirdiği belirtilmiştir. İkinci (1981) ve Garcia-Labiano ve diğ. (1992) de 800-900°C'de, düşük hızlarda ve yüksek hava fazlasının bulunduğu şartlarda yüzeyinde gerçekleştirdiği ifade edilmektedir. Kireçtaşı eklenen deneylerde de en iyi SO₂ söylenmektedir. Eksenel profile göre SO₂ oluşumunun esas olarak aktif yatak ve yatak bunun nedeninin sülfürün aktif yatak ve serbest bölgedeki artan yanması olduğu Aynı çalışmada hava fazlalığındaki azalmanın küllür dioksit yayımını arttırdığı ve yüksek sıcaklıklara oranla SO₂ yayımının daha düşük kaldığını gözlemlemiştir. Herhangi bir tutucunun eklenmediği deneylerde, Khan ve Gibbs (1996) 830°C'de daha parametrelerinin etkisi yukarıdaki iki parametrenin yanında önemsizdir.

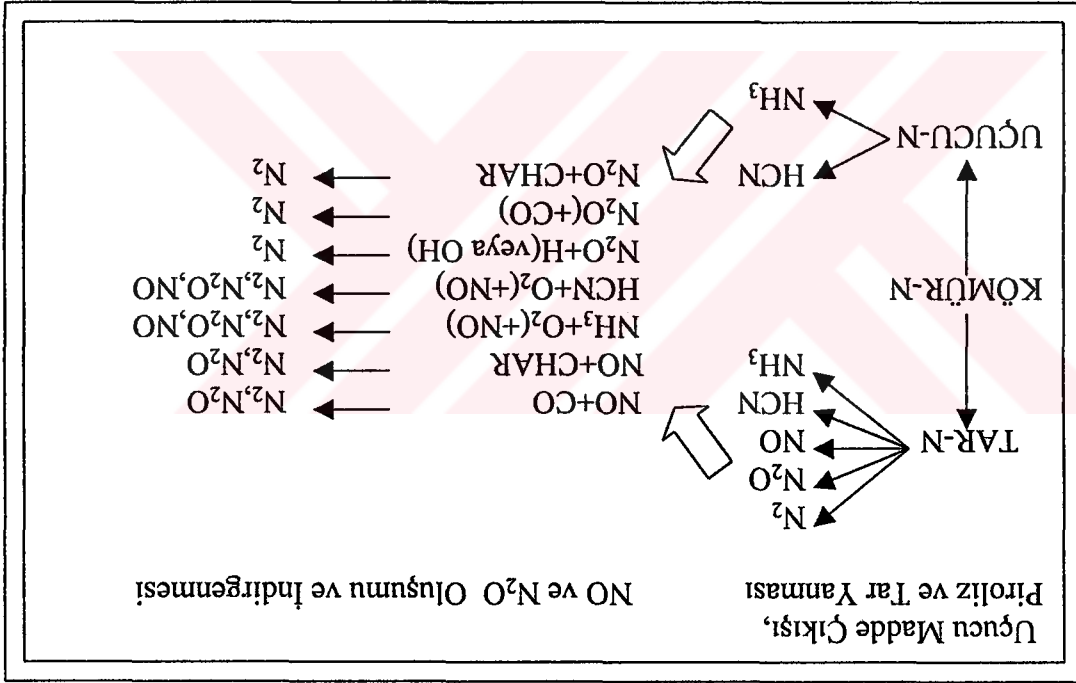
yüzey alanları sonucu daha reaktiflerdir. Bu çalışmaya göre diğer çalışma kalsiyum içeriğiyle tanecikliğin yüzey alanına bağlıdır ve küçük tanecikler daha büyük etkisiyle uyumlu olarak yataktaki kireç taşının boyutudur. Kireçtaşının reaktivliği göstermiştir. İkinci önemli etken ise modellerde ifade edilen kireçtaşı reaktivliğinin tutulan sülfürün esas olarak kullanılan Ca/S molar oranına bağlı olduğunu Sorbent eklenen çalışmalarda teorik modeller ve önceki çalışmalarla uygun olarak yakıtın sülfür içeriğinin yaklaşık %71,5'inin SO₂ olarak yayıldığını gözlemlemiştir. Zhang ve diğ. (1992), herhangi bir tutucu madde eklemeyen yapıları çalışmada türlü ve yatağa beslenen Ca:S mol oranıdır (Henttonen ve diğ., 1992).

SO₂ oluşumu ve kontrolünde en etkili olan değişkenler, yatak sıcaklığı, gaz kalma süresi, yakıt tanecikliğin boyutu, yataktaki O₂ miktarı, yakıtın küllür içeriği, sorbent



Akışkan yataktaki NO_x ve N_2O oluşum ve bozunmalarında operasyon şartlarıyla, birçok homojen ve heterojen reaksiyon önem taşır. Şekil 2.5'te akışkan yataktaki yakıt-azotu için basitleştirilmiş dönüşüm şeması verilmektedir. Uçucu madde gıksi boyunca bu azot goğu NH_3 ve HCN şeklinde olmak üzere tar-azotu ve uçucu-azotu komponentlerine ayrılır. Yanma boyunca tar-azotu NO ile N_2O 'ya okside olur ve aynı zamanda kısmen N_2 'ye indirgenir. Bu sırada az miktarda NH_3 ve HCN oluşumu devam etmektedir. Uçucu azotu ise NO , N_2O veya N_2 'ye okside olabilir ya da CO ve H_2 ile birlikte homojen veya kireçtaşı, kum gibi katalizörlerle; heterojen reaksiyonlarıyla NO ve N_2O indirgenmesinde yer alır (Johansson, 1994).

Şekil 2.5. Yakıt-Azotu Dönüşüm Reaksiyonları (Johansson, 1994).



yataklı yakıcılardaki kademeli yanma prensibidir. Normalde bir katı fosil yakıt yakıldığında oluşan azot oksitler iki kaynağı vardır; yakıtın organik yapısında ve serbest halde bulunan azotla, havada bulunan azot. Akışkan yatakların gelişme sıcaklığı esas olarak yakıtın azotunun NO_x 'lere dönüşmesine neden olurken, klasik yakma sistemlerinde 1000°C 'nin üzerinde geliştiğinden havada bulunan termal azotun da oksijenle reaksiyona girdiğilinnmektedir (Wojtowicz ve diğ., 1994). Henttonen ve diğ. (1992)'e göre NO_x yayımları için en önemli parametreler; birincil/ikincil hava oranı, hava fazlası, yatak sıcaklığı ve yakıttaki azot miktarıdır.

2.7.3. Biyokütle Yakıtlar ve Yayınları

Fosil enerji kaynaklarının, atmosferde oluşturduğu kirliliğin artışıyla beraber dünyadaki bir çok ülkede alternatif enerji kaynaklarının kullanımına yönelik çalışmalar başlatılmış ve tarımsal kaynaklı ürünlerden ve diğer atıklardan enerji üretimine önem verilmeğe başlamıştır. Biyokütle fosil yakıtlara göre yaygınlar konusunda önemli avantajları bulunmaktadır. En başta sera etkisinden kaynaklanan küresel ısınma fosil yakıtlar yerine biyoenjeri kullanıldığında azalacaktır. Biyokütle yakılmasıyla da eşit miktarda karbon dioksit atmosfere verildiğinden bu doğrudan doğruya görülmez. Fakat biyoenjeri ürünlerinin kullandıkları kadar hızlı bir şekilde yeniden yetiştirilmesi mümkün değildir; atmosferde verdikleri CO₂'nin büyük bir kısmının sonraki ürün döngüsünde geri absorblanacağı görülür, çünkü bitkiler insan ve hayvanların aksine oluşumları sırasında karbon dioksit absorblayıp, atmosfere oksijen verirler. Böylece genel karbon dioksit seviyesi dengede kalır (Unanimous, 1991). Fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında, biyokütle temiz bir enerji biçimidir; düşük kütle ve azot içeriğine sahiptir. Kömürler %1-5 oranında kütle içeriği tarımsal ve odunsu yakıtların kuru bazdaki kütle içeriği %0.15'in altında kalır. Şehirsel atıklar ve lağım çamurlarının biyokütle içeriği bile sadece düşük sülfürlü kömürler kadardır. Genelde gözlenen bu düşük değerler kültürden kaynaklanan kirlilik ve asit yağmurlarını oldukça azaltır (Hein ve Bemtgen, 1998).

Kim ve diğ. (1994) atık lastiklerle yaptıkları çalışmada, baca gazındaki NO_x derişiminin yakıttaki azot miktarına, yatak sıcaklığına ve hava fazlasına bağlı olduğunu söyleyip; NO_x yayınının başarılı bir şekilde kontrol edilerek 160 ppm'in altında tutulmasını sağlamışlardır.

Hein ve Bemtgen SO₂ yayını için yaptıkları tüm deneylerde, kömür-biyokütle ikili yanmasının önemli ölçüde olumlu etkileri olduğunu ve yayınlarda %75'e varan bir azalma elde edildiğini bulmuşlardır.

Orhanlı linyitli-tatlı sorgun karışımının yakıldığı çalışmalarda, linyit yakılması sonucu oluşan ve atmosferik kirliliğe neden olan SO₂ yayınının azaldığı görülmüştür (Çubuk, 1998, Uzun ve diğ., 1997).

Khraissha ve diğ. (1998), zeytin küspesiyle yaptıkları çalışmada eser miktarda SO₂ ve çok az da CO yayını elde etmişlerdir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte CO konsantrasyonundaki düşüşe karşın CO₂ artışı gözlemlenmiş; bunun sebebi olarak da yüksek sıcaklıklarda CO'nun çoğunun CO₂ oluşturmak üzere oksijenle reaksiyona girmesi gösterilmiştir. Yakıt debisinin artmasının CO_x derişimini artırdığı, yüksek debilerde tamamlanmamış yanmanın daha yüksek olduğu söylenmektedir. Bunun nedeni ortamda karbonu CO₂'ye çevirmeyi sağlayacak yeterli oksijen bulunamamasıdır. Ayrıca hava fazlasının CO yayını üzerindeki olumlu etkisi de oldukça belirgindir (Saxena ve Dewan, 1996).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Kullanılan Vakıtların ve Yatak Malzemesinin Tanıtılması

Deneysel çalışmalarda kullanılan linyit numunesi Türkiye Kömür İşletmelerinin (TKİ) Seyitömer bölgesi ocaklarından temin edilmiştir.

Linyit numuneleri geneli bir kırıcıda ve bir değirmende kırıldıktan sonra elenerek 1.0 mm altı, +1.0-1.9 mm, +1.9-2.7mm, +2.7-3.3 mm ve 3.3 mm üzeri fraksiyonlara ayrılmıştır. Deneylerde, +1.0-1.9 mm, +1.9-2.7 mm +2.7-3.3 mm'lik tanecik boyutuna sahip 3 fraksiyon kullanılmıştır.

Kullanılan prina numunesi ise İzmir-Ödemiş'te faaliyette bulunan özel bir yağ ve prina fabrikasından temin edilmiştir. Bu numuneye herhangi bir kırma işlemi uygulanmamıştır.

Parçacık boyutuna bağlı olarak kimyasal yapıda ortaya çıkabilecek farklılıklar göz önüne alınarak, her boyuttaki kömürden ve prinadan eşit miktarlarda numune alınıp karıştırılmış ve 0.2 mm'nin altına kadar öğütülmüştür. Öğütülen numunelerden konileme-dörtleme yöntemi ile analizler için numune alınmıştır.

Yatak malzemesi olarak yikanmış kum kullanılmıştır. Kum, Türkiye Şişe Cam Fabrikaları A.Ş. Topkapı Şişe Cam Fabrikasından sağlanmıştır. Deneysel çalışmalarda kumun +0.3-0.6, +0.6-1.0 mm ve +1.0-1.4 mm'lik fraksiyonları kullanılmıştır.

3.2. Numunelere Uygulanan Analizler

Kullanılan linyit ve prina numuneleri ile yatak malzemesinin özelliklerini saptamak amacıyla, bu numunelere ASTM standartlarında belirtilen analiz yöntemleri kullanılarak gerekli analizler yapılmıştır.

3.2.1. Kısa, Elementel Analiz ve Isıl Değer Tayini

Linyit ve prina numunelerinde toplam nem ASTM D 3173-73, küllü ASTM D 3174-73 ve uçucu madde ASTM D 3175-77'ye göre hesaplanmıştır. Sabit karbon miktarı aradaki farktan bulunmuştur. Isıl değerler ASTM D 2015-66'ya göre izotermal kalorimetre bombası kullanılarak hesaplanmıştır. Karbon, hidrojen, azot, oksijen ve kükürt değerleri TUBİTAK MAM'da elementel analiz cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Kısa analiz sonuçları Tablo 3.1, elementel analiz sonuçları ise Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Linyit ve prina numunelerinin kısa analizi.

Numune	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Üst Isıl Değer (Kcal/Kg)
Seytömer	23.19	27.00	27.17	22.64	3490.78
Prina	10.14	9.60	56.50	23.76	4044.57

Tablo 3.2. Linyit ve prina numunelerinin elementel analizi (*Toplam Kükürt).

Numune	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	S* (%)
Seytömer	34.30	3.80	1.51	8.41	1.79
Prina	44.73	5.66	1.35	28.40	0.12

3.2.2. Küllerin Kimyasal Analizi

Külden yapılan kimyasal analizler SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO ve K₂O'nin analizlerini kapsamakta olup, JEOL JSM-T330 marka taramalı elektron mikroskop (SEM) ile gerçekleştirilmiştir. Kül analizi sonuçları Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Linyit ve prina küllerinin kimyasal analiz değerleri.

Bileşen	Seytömer (%)	Prina (%)
SiO ₂	49.56	43.90
Al ₂ O ₃	20.41	13.34
Fe ₂ O ₃	9.40	8.90
CaO	6.91	13.68
MgO	5.87	1.66
K ₂ O	1.52	11.68

3.2.3. Yatak Malzemesine Uygunlanan Analizler

Yatak malzemesi olarak kullanılan kumun, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO ve kizdırma kaybını içeren kimyasal analizleri söz konusu maddeyi sağlayan kurumda ve standart yöntemlerle yapılmıştır. Kumun kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Kumun kimyasal analiz değerleri.

Bileşen	%
SiO_2	92.69
Al_2O_3	2.38
Fe_2O_3	0.52
CaO	2.76
MgO	0.10
Na_2O	0.39
K_2O	0.61

3.2.4. Numunelerin Akışkanlaşma Açısından Sınıflandırılması

Numunelerin, yoğunlukları, boyutları ve akışkanlaşma açısından sınıflandırılmaları Tablo 3.5'de verilmiştir.

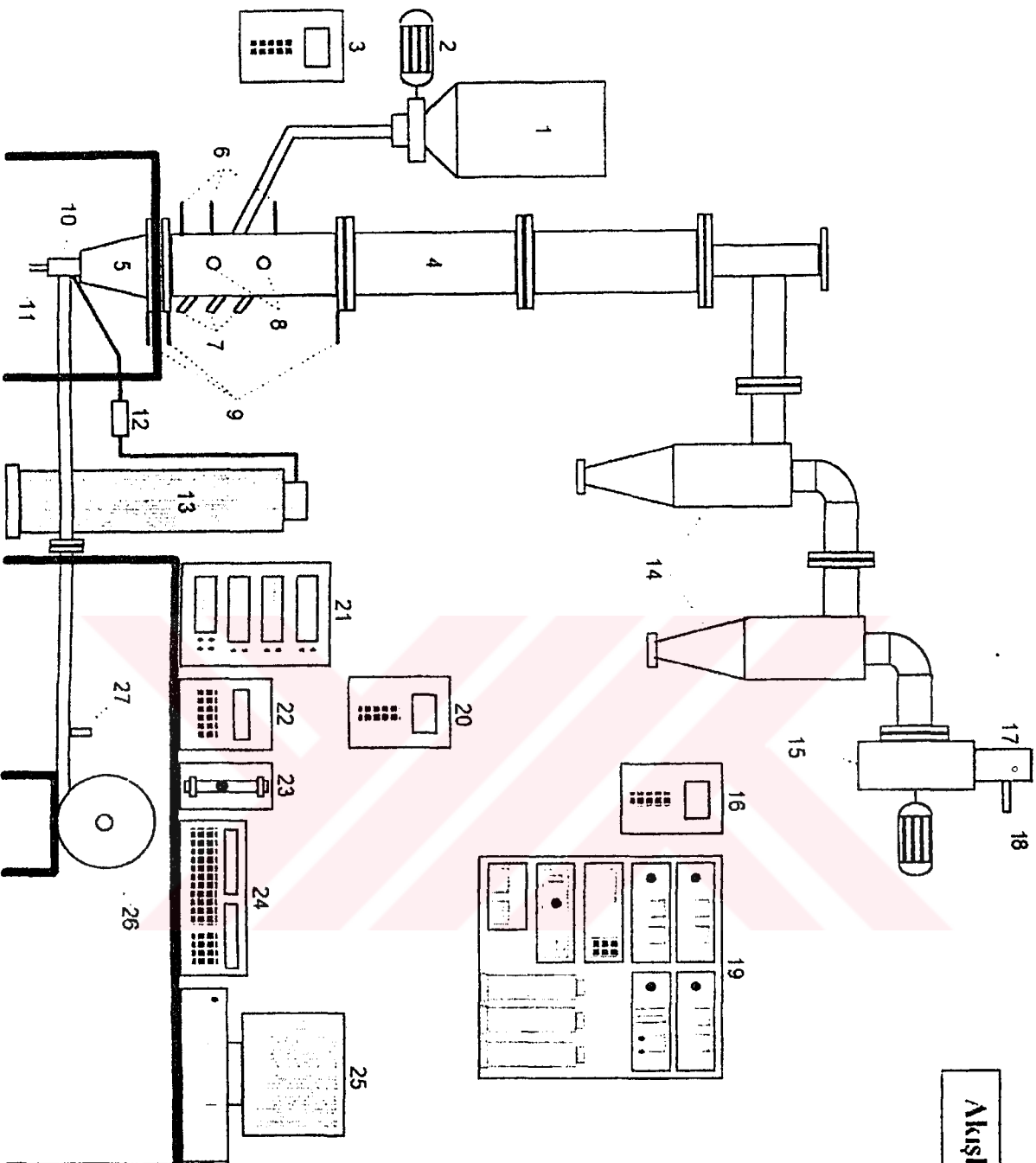
Tablo 3.5. Numunelerin akışkanlaşma açısından sınıflandırılması.

Malzeme	Yoğunluk (kg/m^3)	Boyut (mm)	Geldart (1986)'a göre sınıflandırma
Kum	2660	0.3-0.6	B
		0.6-1.0	D
		1.0-1.4	D
		1.0-1.9	D
Seytömer	1480	1.9-2.7	D
		2.7-3.3	D
		0.6-3.3	D
Prina	1445		

3.3. Deney Düzenği

Deneylerde kullanılan düzenek sürekli çalışabilen, elle kumandalı, yarı otomatik ve bilgisayarla kontrol edilebilecek şekilde yapılmıştır. Şekil 3.1.'de şematik olarak gösterilen deney düzenği temel olarak akışkan yatak, ön ısıtma sistemi, kömür ve sorbent besleme sistemi, basınç ölçme düzenği, siklonlar, besleme ve emiş fanları ile kontrol ünitelerinden oluşmaktadır.

Akışkan Yatak Yakma Sistemi



- | |
|----------------------------------|
| 1. Kömür Besleme Deposu |
| 2. Kömür Besleme Sistemi |
| 3. Kömür Besleme Hızı Kontrolörü |
| 4. Akışkan Yatak |
| 5. Rüzgar Odacığı |
| 6. Isılçılılar |
| 7. Kül Çıkışları |
| 8. Pencereler |
| 9. Basınç Transmitterleri |
| 10. LPG Brülörü |
| 11. Alev Detektörü |
| 12. LPG Besleme Hızı Kontrolörü |
| 13. LPG Tüpü |
| 14. Sıkıtlar |
| 15. Emme Fanı |
| 16. Emme Fanı Kontrolörü |
| 17. Gaz Çıkışı |
| 18. Gaz Analiz Probu |
| 19. Gaz Analizörü |
| 20. Hava Fanı Kontrolörü |
| 21. Elle Kontrol Sistemi |
| 22. LPG Ateşleme Kontrol Sistemi |
| 23. İkinci Hava Flowmetresi |
| 24. Veri Kazanma Ünitesi |
| 25. Kontrol Bilgisayarı |
| 26. Hava Fanı |
| 27. Hava Hız Transmitteri |

Şekil 3.1. Deney Düzenliği

Sistemde yanma ve akışkanlaşma havası bir fan aracılığı ile sağlanmaktadır. Hava debisi, fan motorunun devir hızını ayarlayan envertör yardımı ile kontrol edilmektedir. Kömür besleme sistemi mekanik kısım ve envertör olmak üzere iki kısımdan oluşur. Mekanik kısımda 0.75 kw'lık redüksiyonlu bir motor bulunmaktadır. Bilgisayardan envertöre gönderilen belirli bir kontrol sinyali (0-10 V) ile motorun dönüş hızı ve dolayısıyla yakıt besleme debisi kontrol edilebilmektedir.

On ısıtma sistemi akışkan yatağı kömür tutuşma sıcaklığına kadar ısıtmak amacıyla kullanılmaktadır. Akışkan yatağı ön ısıtması dolaylı bir şekilde ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) kullanılarak yapılmaktadır. Gerekli gaz, sanayi tipi bir LPG tüpünden sağlanmaktadır. LPG ve hava, dağıtıcı eleğin altında karıştırılıp yakılmakta, çıkan gazlar akışkan yatağından geçerek yatağı istenen sıcaklığa ısıtmaktadır.

Konik tabanlı silindirik bir gövde şeklinde olan rüzgar odacığı, ön ısıtma amacıyla da kullanılmaktadır. Bu bölüm alttan ateşleme beki, üstten dağıtıcı eleğe bağlıdır. Dağıtıcı elek, rüzgar odacığı ile yanma bölgesi arasında yer almaktadır. Dağıtıcı elek; sıcak yanma gazlarının yatağa geçmesini ve yatak malzemesinin aşağıya düşmesini sağlamak amaçlı kullanılır. Deneyimizde "delikli düz dağıtıcı elek" kullanılmıştır.

Akışkan yatak esas olarak yanma odası, rüzgar odacığı ve dağıtıcı elekten oluşmaktadır. İnert yatak malzemesinin doldurulduğu; akışkanlaşma ve yanma olaylarının gerçekleştiği yanma odası 0.1 m çapında ve 1.5 m yükseklikte paslanmaz çelikten yapılmış silindirik bir gövde şeklindedir. Yanma odasının gövdesi üzerinde dağıtıcı elekten itibaren değişik yüksekliklerde ısıtıcı girişleri, kömür besleme ve kül çekme boruları ile basınç ölçmek ve gaz çekmek için gerekli problemleri girişini sağlayan delikler ve ön yüzde iki adet gözelleme penceresi bulunmaktadır. Düzenekte dağıtıcı elekten itibaren 0.05 m (T₁), 0.15 m (T₂), ve 0.30 m (T₃) yüksekliklere yerleştirilmiş 3 adet ısıtıcı kullanılmıştır. Kömür ve sorbent besleme boruları 0.2 m yükseklikte, gövdeye 45°'lik açıyla kaynatılmış ¾ inç standart borulardan ibarettir. Bunların karşısında 0.1, 0.2 ve 0.3 m yüksekliklerde 3 adet taşıma (kül çekme) borusu bulunmaktadır. Bu borular aynı zamanda dinamik yatak yüksekliğini ayarlama görevi de yapmaktadır.

Kontrol ünitesinde sıcaklıkların okunduğu pano üzerinde altı kanallı yazıcı ile iki tane Ni-Cr-Ni sıcaklık okuyucusu mevcuttur. Bunun yanı sıra değişik noktalardan ölçülen sıcaklıkları panoda bulunan bir tarayıcı (scanner) ile tarayarak görmek mümkündür. Bu ünitedeki fan kontrol panosu içinde hız kontrol birimi mevcuttur. Pano üzerinde bulunan seçici anahat yardımcıyla fan elle veya bilgisayarla kontrol edilir. Ateşleme kontrol panosu üzerinde bulunan seçici anahatlar, sistem el veya bilgisayarla kontrol edilebilir. Ateşlemenin ve ön ısıtma işleminin elle kontrol edilmesi durumunda, ateşleme kontrol panosundaki fan anahatları ile fan çalıştırılır. Fan panosu üzerindeki gerilim ölçer yardımcıyla gerekli hava debisi ayarlanır. Hızlı bir ön ısıtma isteniyorsa ikinci gaz selenoid vana anahatları açılır. Daha sonra yaylı anahat aracılığıyla bekin kontrol beyni devreye alınmaktadır. Ateşleme beyinde mevcut programa göre ateşleme transformatörü aracılığıyla 2s süre ile kıvılcım çakmakta, bunu izleyen aşamada 1 selenoid açılmakta ve devreden gaz geçmeye başlanmaktadır. Gaz akışı başladıktan 3s sonra ateşleme transformatörü devreden çıkmaktadır. Ateşleme transformatörünün devreden çıkmasından 2s ya da gazın geçmeye başlamasından 5s sonra iyonizasyon elektrodu alevi tespit ederse ateşleme gerçekleştirilmiş olmaktadır. Aksi takdirde 5s'lik bekleme süresinden sonra sistem arızaya geçer. Ateşleme işleminin normal yürütmesi durumunda 1. selenoid vana lambası sürekli yanık kalır. İkinci selenoid anahatları açık durumda ise belirli bir süre sonunda 2. selenoid vana da açılır ve geçen LPG miktarı artar. Ateşleme kontrol

ayarlanmaktadır.

gazlardan uzaklaştırılmaktadır. Gaz numunenin debisi gaz besleme bölümünde ve analiz ünitelerine gönderilmektedir. Soğutma odasında su buharı yoğunlaştırılarak çekilen gaz numunesi, bir soğutma odasından geçirildikten sonra debisi ayarlanmakta yerleştirilmiştir. Sistemin bünyesinde bulunan bir pompa ve gaz hattı vasıtasıyla saptanmaktadır. Gaz numune alma probu siklonlardan sonraki gaz hattı üzerine yanma gazlarının içerdiği CO, SO₂, NO_x ve O₂ derişimlerini sürekli olarak Hartman&Braun marka gaz analiz sistemi, deneylerin yürütülmesi sırasında oluşan gazların uzaklaştırılması amacıyla kullanılmaktadır.

fanı ateşlemenin gerçekleştirmediği durumlarda yanma odası ve siklonlarda biriken bağlanırlar bulunmaktadır. İkinci siklon bir emiş fanı ile bacaya bağlanmıştır. Emiş bir siklon giriş ve çıkışlarında sıcaklıkların ölçülmesi ve gaz numunesi alınması için Akışkan yatak deney düzeneğinde seri halde bağlı iki adet siklon bulunmaktadır. Her

Yanma süreci boyunca deneyde bütün müdahaleler bilgisayar aracılığıyla yapılmaktadır. Sıcaklıklar (T_1 , T_2 , T_3), dağıtıcı elekten itibaren 5, 15, 30 cm mesafelerde bulunan ısı gıftler vasıtasıyla ölçülmektedir. Deneye ait bütün veriler - üç sıcaklık, gaz yayınımları, hava ve kömür besleme debileri vb.- bilgisayar ekranından sürekli olarak izlenebilmektedir. Ayrıca yanmanın gelişimi, gözleme penceresinden cıplak gözle de izlenebilmektedir.

Isıtma sistemini kapatılır, kömürün kendiliğinden yanması başlar. Kömür ile LPG birliktedir yakılır. Sıcaklık 650-700°C gibi bir değere ulaştığında ön kömür tutuşma sıcaklığının üzerine çıktığında kömür beslemeye başlanır ve bir süre başarısız olursa bilgisayara hata mesajı gelir ve ateşleme işlemi tekrarlanır. Sistem yatağın ön ısıtma sistemi devreye alınıp LPG ile ısıtmaya başlanır. Ateşleme besleme fanı çalıştırılır. Ateşleme gerçekleştirilerek yatak malzemesi ile dolu akışkan devreye alınarak, kontrol programı yüklenir ve deneyde ait ön bilgiler girilerek hava malzemesi ve tozlardan temizlenir. Temizlenmiş akışkan yatağa statik yatak yüksekliliği olan 13 cm'ye kadar yatak malzemesi doldurulur. Daha sonra bilgisayar Deneylere başlamadan önce, akışkan yatağın içi ve sıklonlar içerdikleri kül, yatak

3.4. Deneylerin Yürütülmesi

Bilgisayarlı kontrol ve veri toplama sistemi, deneylerin yürütülmesi sırasında deney sistemi göndererek deneyin yürütülüşünü kontrol etmektedir. Bilgisayarlı kontrol sistemi, mühendislik ve kontrol uygulamaları için özel olarak üretilmiş iş istasyonu (workstation) türü Hewlett Packard (HP) 9000/300 serisi bilgisayarı, HP Thinkjet yazıcı, altı kalemli HP Colorpro gizici (plotter) ile HP 3852A veri toplama/kontrol (data acquisition/control) ünitelerinden oluşmaktadır.

Bilgisayarlı kontrol ve veri toplama sistemi, deneylerin yürütülmesi sırasında deney sistemi göndererek deneyin yürütülüşünü kontrol etmektedir. Bilgisayarlı kontrol sistemi, mühendislik ve kontrol uygulamaları için özel olarak üretilmiş iş istasyonu (workstation) türü Hewlett Packard (HP) 9000/300 serisi bilgisayarı, HP Thinkjet yazıcı, altı kalemli HP Colorpro gizici (plotter) ile HP 3852A veri toplama/kontrol (data acquisition/control) ünitelerinden oluşmaktadır.

Sıcaklığın eşik sıcaklığın altına düşmesiyle ateşleme programı otomatik olarak panosundaki sıcaklık göstergesinin belirli bir eşik sıcaklığına ayarlanması ve bu sıcaklığın aşılması durumunda gaz selenoid vanaları otomatik olarak kapanır.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Benzer taneciklerden oluşan akışkan yataklı yakma sistemleri etkin karışma mekanizması ve buna bağlı olarak gerçekleştirilen tekdüze sıcaklık dağılımı ile düşük baca gazı yayınımları gibi nedenlerle ideal yakma sistemleri olarak kabul edilmektedirler. Ancak uygulamada, çok farklı taneciklerden oluşan bu sistemlerin gerek karmaşık hidrodinamik özellikleri, gerekse de yakıtların yanma özelliklerinden dolayı idealden oldukça farklı sistem davranışlarıyla karşılaşılmaktadır. Bu nedenle böyle çok farklı özelliklere (tanecik boyutu, yoğunluk vs.) sahip katı taneciklerden oluşan sistemlerin çoğu kez tek tek incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Seyitömer linyiti ile biyokütle türü bir yakıt olan prınanın karışımının akışkan yataklı yanması incelenmiştir. Bu çerçevede akışkan yataklı yanma koşulları, yataklı içindeki sıcaklık dağılımları ve baca gazı yayınımları üzerinde durulmuştur. Bu çalışmanın amacı linyit-prına karışımını yakacak bir akışkan yataklı yakma sistemi için uygun çalışma koşullarının belirlenmesidir.

Deneyel çalışmalar süresince linyit-prına ikilisinin külesel karışım oranları, kömür tanecik boyutu, yataklı malzemesi tanecik boyutu ve hava fazlalık yüzdesi temel değişkenler olarak seçilmiş ve bunların yanma sürecine olan etkileri incelenmiştir. Deneylerde statik yataklı yüksekliği (h_s) 13 cm, dinamik yataklı yüksekliği (h_d) ise 30 cm olarak sabit tutulmuştur.

Yataklı içinde dağıtıcı elekten itibaren $h=5$ cm, $h=15$ cm, $h=30$ cm yüksekliklerinde sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bu sıcaklıklar sırasıyla T_1 , T_2 , ve T_3 olarak gösterilmiştir. Bölge arası sıcaklık farkları için $\Delta T_1=T_2-T_1$ ve $\Delta T_2=T_3-T_2$ tanımları yapılmıştır. Çalışmada sıcaklığın yanısıra baca gazlarındaki SO_2 , CO , O_2 ve NO_x değerleri de sürekli bir şekilde ölçülmüştür.

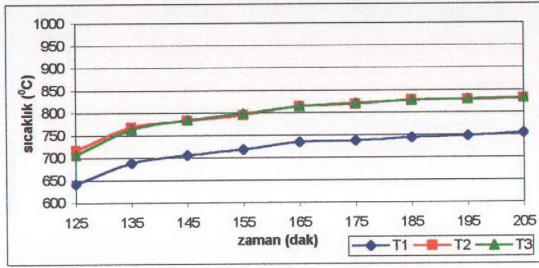
4.1. Yanma Boyunca Yataktaki Sıcaklık Dağılımı

4.1.1. Kömür Oranının ve Tanecik Boyutunun Sıcaklık Dağılımına Etkisi

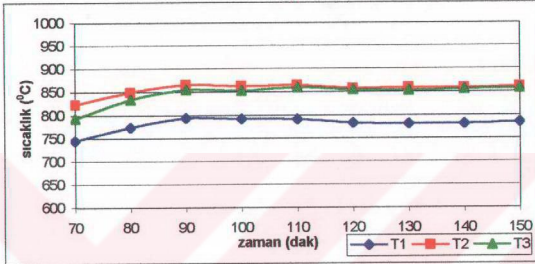
Kömür-prina karışım oranlarının ve kömür tanecik boyutunun akışkan yataktaki sıcaklık dağılımına olan etkisini incelemek amacıyla üç farklı kömür fraksiyonu ve bunların 1.0-3.0 mm'lik prina ile ağırlıkça %100, %75, %50 ve %25 oranında linyit içeren karışımları kullanılarak bir seri yanma deneyi yapılmıştır. Şekil 4.1'de 1.0-1.9 mm'lik kömür fraksiyonunun değişik oranlarda prina içeren karışımlarıyla yapılmış deneylerin sıcaklık profilleri verilmiştir. Şekil 4.2'de 1.9-2.7 mm'lik linyit fraksiyonun, Şekil 4.3'te ise 2.7-3.3 mm'lik linyit fraksiyonun aynı şartlardaki sıcaklık dağılım grafikleri verilmiştir. Bu deneylerde yatak malzemesi olarak 0.6-1.0 mm'lik kum kullanılmıştır. Deneylerde hava fazlalık oranı %10 olarak tutulmuştur.

Şekillerden görüldüğü gibi, linyit-prina karışımlarının yakıldığı akışkan yataklarda sıcaklık dağılımının, linyitin tanecik boyutu ve karışımın bileşiminden çok fazla etkilendiği anlaşılmaktadır. Aktif yatak içinde $h=5$ cm ve $h=15$ cm'lerde ölçülen sıcaklık farkını gösteren ΔT_1 , yanma süresince 75-80°C aralığında değişmiştir. Yine hemen hemen bütün şartlarda yatak yüzeyine yakın bölgelerde en yüksek sıcaklıklara ulaşılmıştır. Serbest bölge sıcaklığı genelde $h=15$ cm'deki aktif yatak sıcaklığının altında kalmıştır. Bu iki bölge sıcaklıkları arasındaki farkı gösteren ΔT_2 zamanla gittikçe küçülmüştür. Bu davranım bütün karışımlar için benzer bir profil göstermektedir.

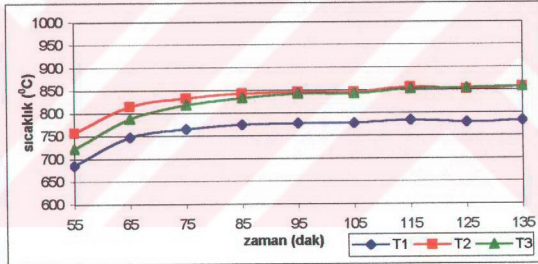
Her iki yakıtın ucuca maddede içericilerinin yüksek olması ve ucuca maddelerin yatağın üst bölgelerinde yanması ΔT_2 'in azalmasında önemli bir etkindir. ΔT_2 'deki azalma kömür tanecik boyutu azaldıkça artmaktadır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, 1.0-1.9 mm'lik linyit içeren yakıt karışımlarının yanması sırasında yatak yüzeyi ile serbest bölge sıcaklıkları aynı seviyelerde seyretmektedir. 2.7-3.3 mm'lik linyit ise ΔT_2 değeri biraz daha yüksek olmasına karşın 20°C'da kalmaktadır. İnce linyit fraksiyonu içeren karışımlar için serbest bölge sıcaklığının aktif yatak sıcaklığına bu kadar yakın olmasının nedeni, yakıt taneciklerinin kısmen serbest bölgeye taşınarak yanmalarını burada sürdürmeleridir. 2.7-3.3 mm'lik linyitin tek başına yakıldığı çalışmada ise deneyin 130. dakikasında T_2 sıcaklığındaki ani bir artış, T_1 ve T_3 sıcaklıklarında ise



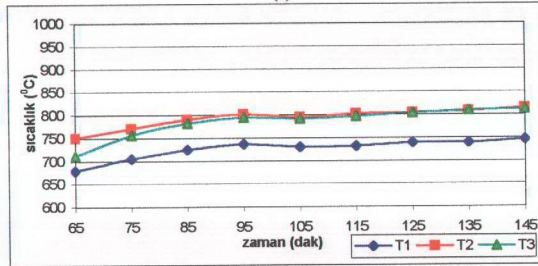
(a)



(b)

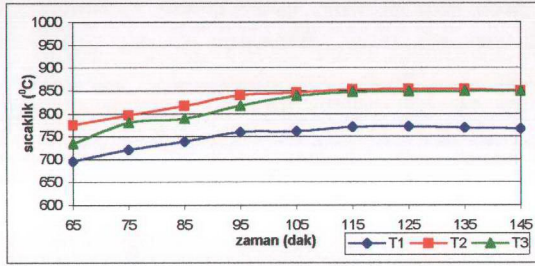


(c)

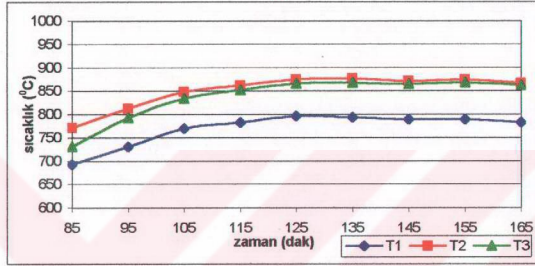


(d)

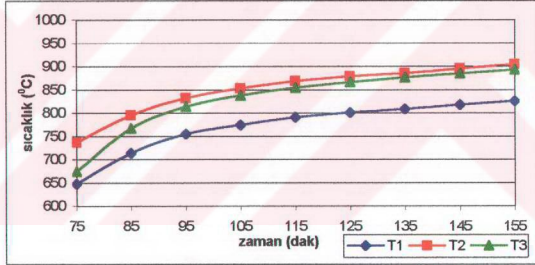
Şekil 4.1. 1.0-1.9 mm boyutunda kömür içeren karışımların akışkan yataкта eksenel yönde sıcaklık dağılımları (YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10). Karışımdaki kömür oranı: a) %100, b) %75, c) %50, d) %25



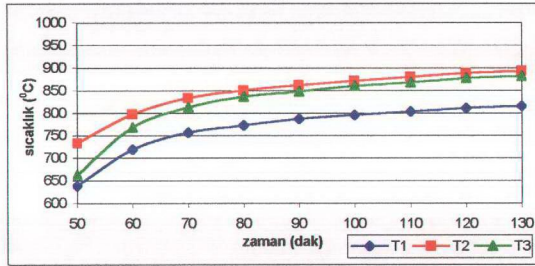
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.2. 1.9-2.7 mm boyutunda kömür içeren karışımların akışkan yataкта eksenel yönde sıcaklık dağılımları (YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10). Karışımdeki kömür oranı: a) %100, b) %75, c) %50, d) %25

büyük bir düşüş başlamış ve yanmanın sonlanmasına doğru gidilirken deneye son verilmiştir.

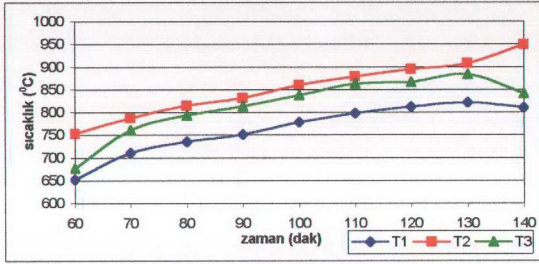
Ayrıca büyük linyit fraksiyonları içeren karışımlarda, prina yüzdesi arttıkça yatak yüzeyi ile serbest bölge arasında ortaya çıkan sıcaklık farkının biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, deneylerde kullanılan kömür ile prinanın kül içeriklerinin çok farklı olmasıdır. Deneylerde kullanılan Seyitömer linyitinin kül içeriği %27, prinanın ise %9.6 civarındadır. Bu nedenle karışımdaki prina oranı arttıkça aktif yatakta biriken kül miktarı azalmaktadır. Böylece aktif yatak içinde daha homojen bir karışma ve yanma gerçekleşmektedir.

Sıcaklık profilleri, linyit-prina-kum üçlü karışımında, linyit ve prinanın yüzüşen bileşenler şeklinde davrandıklarını göstermektedir. Tablo 3.4'te görüldüğü gibi, kömür ile prinanın yoğunluklarının birbirlerine çok yakın olmasına karşılık yatak malzemesi olan kumun yoğunluğundan hayli düşük kalmaktadır. Şekillerden, karışma ve ayrışmanın esas olarak yoğunluk farkından kaynaklandığı, bu yüzden kullanılan yakıtların ikili karışım oranlarının yakıtın yüzüşme eğilimini etkilese de, esas olarak genel davranımını değiştirmedikleri anlaşılmaktadır. Prina tanecik boyutunun da geniş bir aralığa dağıldığı düşünülürse, kömür-prina karışım oranlarındaki değişimin yataktaki sıcaklık profilini önemli ölçüde etkileyecek ve bozacak bir etki göstermediği söylenebilir. Bu durum literatürle de uyum göstermektedir.

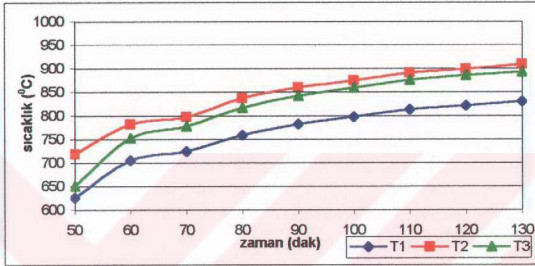
4.1.2. Yatak Malzemesi Boyutunun Sıcaklık Dağılımına Etkisi

Yatak malzemesinin karışma ve sıcaklık dağılımına olan etkisini incelemek amacıyla 0.6-1.0 mm'lik kum ile yaptığımız deneylerle birlikte 0.3-0.6 mm ve 1.0-1.4 mm boyutlarındaki iki kum fraksiyonunu daha içeren yataklarda deneyler yürütülmüştür. Deneylerde 1.0-1.9 mm ve 2.7-3.3 mm'lik linyit kullanılarak hazırlanan %50 linyit-%50 prina karışımları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmiştir. Bu çalışmalarda da hava fazlalığı %10 olacak şekilde ayarlanmıştır.

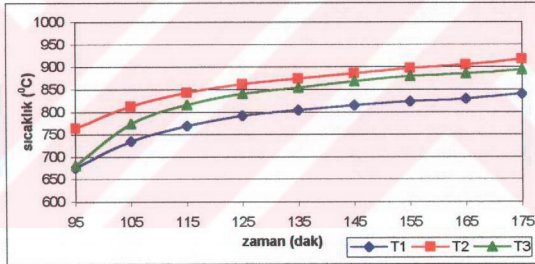
Yatak malzemesinin boyutunun 0.6-1.0 mm'den 0.3-0.6 mm'ye düşürülmesi karışmada ve sıcaklık dağılımında önemli bir fark yaratmamıştır. Çalışılan her iki kömür fraksiyonunu da içeren linyit-prina karışımları için de ΔT_1 'de önemli bir



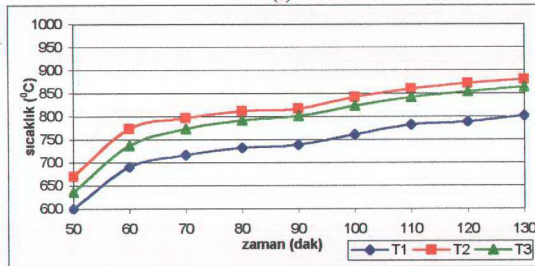
(a)



(b)



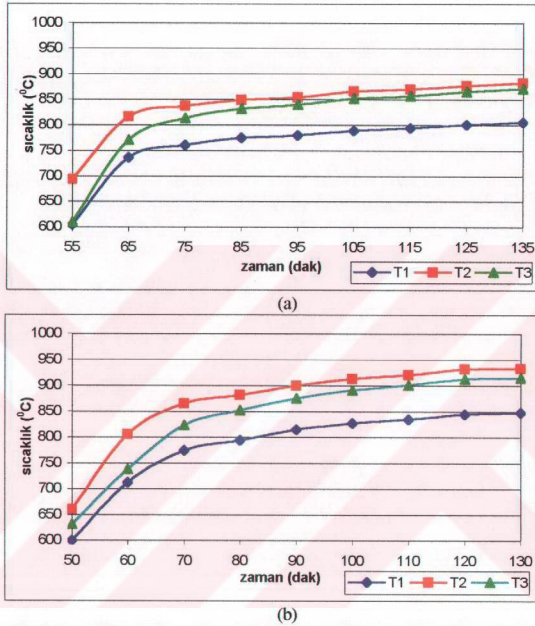
(c)



(d)

Şekil 4.3. 2.7-3.3 mm boyutunda kömür içeren karışımların akışkan yataкта ekşenel yönde sıcaklık dağılımları (YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10). Karışımdeki kömür oranı: a) %100, b) %75, c) %50, d) %25

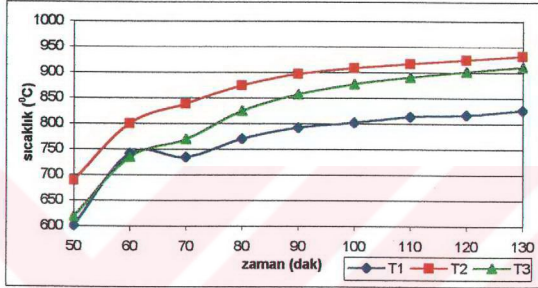
değişiklik gözlenmezken, 1.0-1.9 mm'lik kömür fraksiyonu içeren %50'lik karışım için ΔT_2 'de bir artış olduğu ve taneciklerin az da olsa aktif yatağın üst yüzeyine yoğunlaşarak yanmaya başladıkları gözlemlenmiştir. Bunun sebebi küçülen yatak malzemesi boyutunun daha iyi bir karışmayı sağlayarak, yatakta biriken külün yüzeyde yoğunlaşmasını engellemesi olabilir.



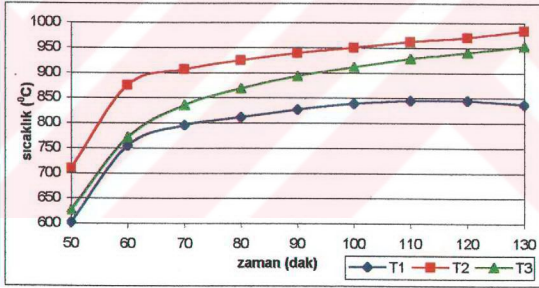
Şekil 4.4. 0.3-0.6 mm'lik yatak malzemesi içeren akışkan yatakta eksenel yöndeki sıcaklık dağılımları (KO: %50 kömür; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10). Kömür tanecik boyutu: a) 1.0-1.9 mm, b) 2.7-3.3 mm

Yatak malzemesi boyutunun 1.0-1.4 mm'ye çıkartıldığı deneylerde ise sıcaklık dağılımlarında büyük değişimler olmuştur. Ön ısıtmaya son verilip linyit-prina karışımıyla yanmanın sürdürülmeye başlandığı noktada çok büyük olan ΔT_2 yanma ilerledikçe küçülmüştür. Ancak ΔT_2 değerleri yine de 0.6-1.0 mm'lik yatak malzemesiyle gerçekleştirilen yanma süreçlerinde gözlenen ΔT_2 değerlerinden daha büyük kalmış ve yanma ağırlıklı olarak aktif yatağın üst bölgelerinde devam etmiştir. Daha küçük boyuttaki yatak malzemeleri kullanıldığında önemli bir değişiklik göstermeyen aktif yatak içindeki dağılım (ΔT_1) ise yanmanın başladığı andan itibaren

her iki linyit fraksiyonu için de çok daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi 1.0-1.9 mm'lik kömür içeren karışımın yanması sırasında tüm deney süresince ΔT_1 100⁰C civarında kalmış ve sistem yakıt yüzüşen zengin bir profil ortaya koymuştur. 2.7-3.3 mm'lik kömür içeren karışımın yanmasında da yanma ilerledikçe ΔT_1 'de artış gözlenmiş ve 110. dakikadan sonra T_2 ile T_3 sıcaklıkları sürekli artarken T_1 sıcaklığında gittikçe artan derecede düşüş başlamıştır ve bu deney kesilene kadar devam etmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.5. 1.0-1.4 mm'lik yatak malzemesi içeren akışkan yataкта eksenel yöndeki sıcaklık dağılımları (KO: %50 kömür; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10).

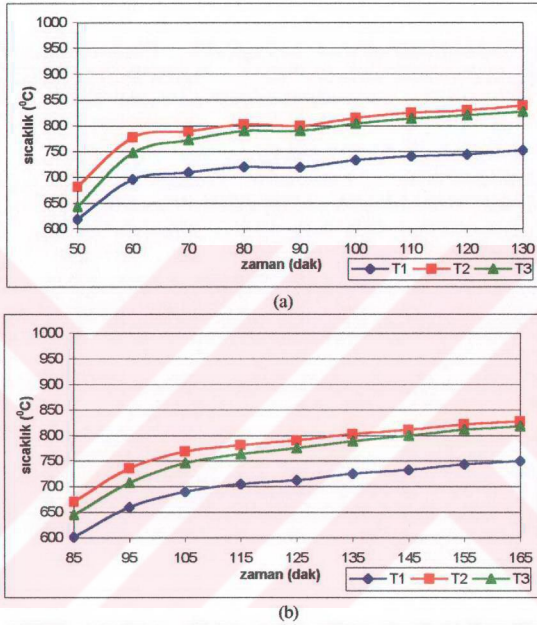
Kömür tanecik boyutu: a) 1.0-1.9 mm, b) 2.7-3.3 mm

Sonuçta yatak malzemesi boyutunun değişmesi sistemin yakıt yüzüşen zengin özelliğini değiştirmemiş, sadece bunun derecesini etkilemiştir.

4.1.3. Hava Fazlasının Sıcaklık Dağılımına Etkisi

Hava fazlalık oranının linyit-prina karışımlarının yanmasına olan etkisini incelemek amacıyla %10, %20 ve %30'luk stokiometrik hava fazlalıklarıyla deneyler yapılmıştır.

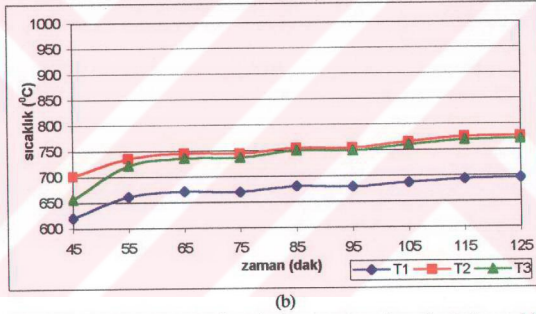
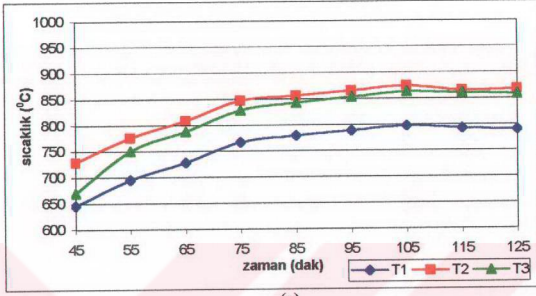
Bu deneyler de 0.6-1.0 mm'lik kum içeren akışkan yataklarda gerçekleştirilmiştir. %10 hava fazlasıyla elde edilen deneyler daha önceki bölümlerde sunulmuş ve tartışılmıştır. %20 ve %30'luk hava fazlalıklarıyla yapılan deneylerin sonuçlarıysa sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir. Bu çalışmalarda da 1.0-1.9 mm ve 2.7-3.3 mm'lik kömür fraksiyonları %50 oranında prina ile karıştırılarak kullanılmıştır.



Şekil 4.6. %20 hava fazlası ile çalışılan akışkan yataкта eksenel yönde sıcaklık dağılımları (KO: %50 kömür; YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.340 m³/dak). Kömür tanecik boyutu: a) 1.0-1.9 mm, b) 2.7-3.3 mm

Bu çalışma şartlarında hava fazlalığına bağlı olarak ΔT_1 'de önemli bir değişiklik gözlenemezken, ΔT_2 değerlerinde bazı değişimler gözlenmiştir. Şekil 4.1-c ve Şekil 4.3-c (%10 hava fazlalığı) Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 ile kıyaslandığında aktif yatağın içindeki sıcaklık dağılımı hava fazlalığından etkilenmeksizin yanmanın başladığı andan sonlandırıldığı ana kadar benzer bir profil izlemiş; h=5 cm ve h=15 cm'de ölçülen sıcaklıklar arasındaki fark hemen hemen sabit kalmıştır. 2.7-3.3 mm'lik kömür fraksiyonu içeren karışımında hava fazlalığı ve buna bağlı olarak hava hızı arttıkça serbest bölge sıcaklığı aktif yatağın üst bölgesinin sıcaklığına yaklaşmıştır. Bunun

nedeni %10 hava fazlalığının kullanıldığı deneylerde linyit taneciklerinin boyutunun büyük olmasından dolayı yatak yüzeyine yakın bölgeye yoğunlaşarak yanan kömür taneciklerinin hava hızı arttıkça daha iyi karışarak ve serbest bölgeye taşınarak yanmayı daha geniş bir alanda sürdürmeleridir. Fakat ΔT_2 'deki bu azalmayla beraber yatağın tamamına bakıldığında sistemin tümünde hava hızındaki artışa paralel olarak



Şekil 4.7. %30 hava fazlası ile çalışılan akışkan yataкта eksenel yönde sıcaklık dağılımları (KO: %50 kömür; YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.368 m³/dak). Kömür tanecik boyutu: a) 1.0-1.9 mm, b) 2.7-3.3 mm

soğumanın gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni hava hızındaki artışa paralel olarak baca gazları tarafından yataktan çekilen ısı miktarının da artmış olmasıdır. Daha sonraki bölümde tartışılacağı gibi, CO yayınının düşük değerlerde seyretmesi, yüksek hızdan dolayı taneciklerin tam yanmadan sistemin dışına taşındıkları yorumunun gerçeği tam yansıtmadığını göstermektedir. Hava fazlalığının artmasının 1.0-1.9 mm'lik kömür fraksiyonu içeren karışımın yanması üzerindeki etkisi ise çok belirgin sonuçlar vermemiştir. Hava fazlalığı arttıkça ΔT_2 değerlerinde bir artış görülmüş, fakat bu hava fazlasının artışıyla doğru orantılı olmamıştır. %30 hava fazlası

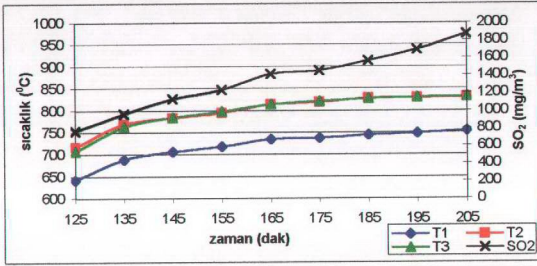
ile çalışılan deneyde ΔT_2 , yanmanın başlangıcında %20 hava fazlası ile çalışılan deneye göre daha yüksek değerlerde olsa da ilerleyen sürede bu durum tam tersine dönmüştür. Ayrıca bu deneylerin her ikisi için de ön ısıtmanın kesilmesinden yaklaşık 20 dakika sonra yatak içi ve serbest bölge sıcaklıklarının aynı olduğu, fakat bu andan sonra %30 hava fazlalığı içeren deneyde sıcaklığın tüm sistemde hızla arttığı görülmüştür. Bu deney sonlandırıldığında, stokiometrik hava fazlalığının etkisinin incelendiği deney grubundaki en yüksek yatak sıcaklığına ulaşıldığı görülmüştür.

4.2. Linyit-Prina Karışımının Yanma Sürecindeki SO₂ Yayınımı

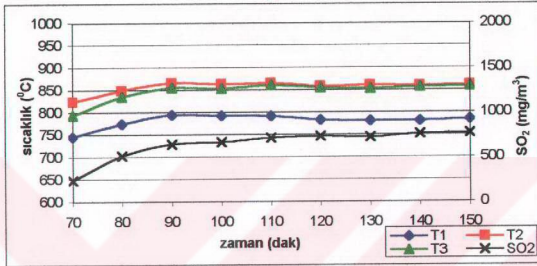
4.2.1. Linyit-Prina Oranının SO₂ Yayınımına Etkisi

Karışımındaki prina oranının akışkan yatakta yanmada ortaya çıkan SO₂ yayınına olan etkisini incelemek amacıyla ağırlıkça %100, %75, %50 ve %25 oranında kömür içeren karışımların kullanıldığı bir seri deney yapılmıştır. Deneyler %10 oranında hava fazlası ile 0.6-1.0 mm'lik kumun yatak malzemesi olarak kullanıldığı bir akışkan yatakta yapılmıştır. Çalışmalarda 1.0-1.9 mm, 1.9-2.7 mm ve 2.7-3.3 mm'lik üç farklı linyit fraksiyonu içeren karışımlar kullanılmış ve bunlardan elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.

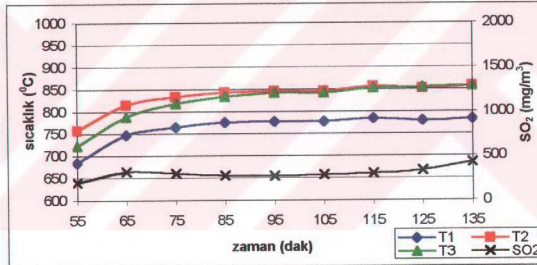
Kullanılan linyit fraksiyonlarından bağımsız olarak, %100 kömür oranıyla çalışılan tüm deneylerde SO₂ yayını, yanma süresince sürekli ve hızlı bir şekilde artarak yaklaşık 2000 mg/m³ mertebesine ulaşmıştır. Karışımındaki prina oranı arttıkça SO₂ yayınımlarının artışı yavaşladığı ve yayınımların daha düşük seviyelerde kaldığı görülmüştür. %75 prina içeren karışımlarda kükürt dioksit yayını yanma boyunca fazla bir değişiklik göstermeden 200-300 mg/m³ aralığında kalmıştır. Yayınımlardaki bu büyük azalmanın asıl nedeni, bir biyokütle türü yakıt olan prinanın, Tablo 3.2'de de görüldüğü gibi, linyitlere kıyasla çok düşük bir kükürt içeriğine sahip olmasıdır. Aynı zamanda, karışımındaki prina miktarı arttıkça yakıtların S ve CaO'inden kaynaklanan Ca/S oranı 0.6'dan 1.54'e kadar yükselmekte ve bu da SO₂ tutulmasında artışa neden olmaktadır. Yapılan analizlerden; ısı değeri Seyitömer linyitinin ısı değerinden daha yüksek olduğu bilinen prinanın, bu durumda birim enerji eldesi başına atmosfere bıraktığı SO₂ yayını gözönüne alındığında çevre dostu bir yakıt olduğu söylenebilir.



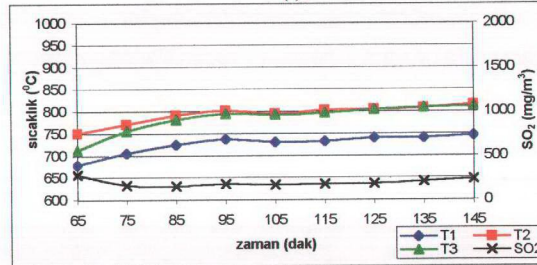
(a)



(b)

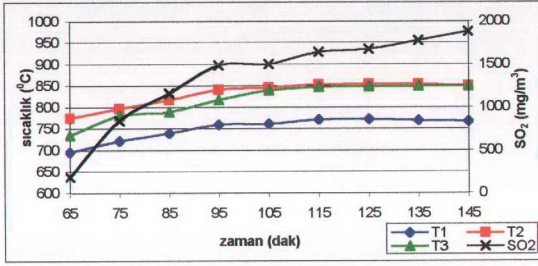


(c)

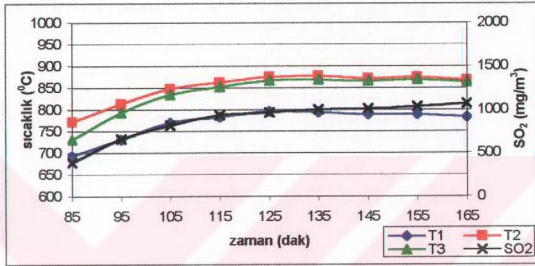


(d)

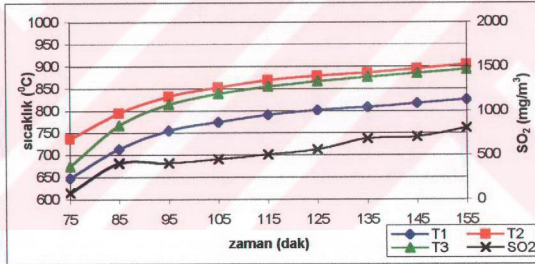
Şekil 4.8. 1.0-1.9 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yatakte SO₂ yayınımları (YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10). Karışımındaki kömür oranı: a) %100, b) %75, c) %50, d) %25



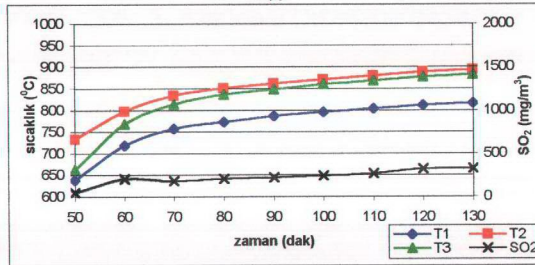
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.9. 1.9-2.7 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataкта SO₂ yayınımları (YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10). Karışımdaki kömür oranı: a) %100, b) %75, c) %50, d) %25

4.2.2. Kömür Tanecik Boyutunun SO₂ Yayınımına Etkisi

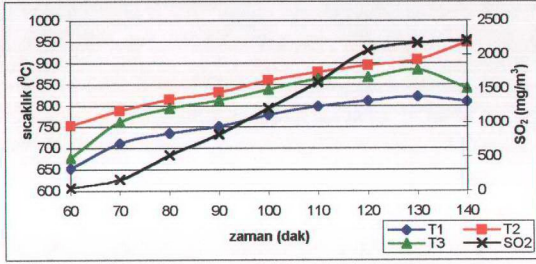
Kömür-prina karışımındaki prina oranının SO₂ yayınına etkisinin incelendiği şartlarda, aynı zamanda kömür tanecik boyutunun etkisi de incelenmiştir. Bu amaçla 1.0-1.9 mm, 1.9-2.7 mm ve 2.7-3.3 mm'lik üç farklı linyit fraksiyonu çeşitli oranlarda prina ile karıştırılarak kullanılmıştır. Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da grafikler eş zamanlı takip edildiğinde her karışım oranı için kömür tanecik boyutunun etkisi görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda, kömür tanecik boyutu büyüdükçe SO₂ yayınına arttığı görülmüştür. Özellikle 1.0-1.9 mm'lik linyit fraksiyonunu içeren karışımlarının yanmasıyla açığa çıkan SO₂ yayını diğer iki fraksiyonun bulunduğu karışımların yanmasıyla ortaya çıkan yayının miktarına göre oldukça düşüktür. SO₂ yayını kömürün yanması sonucu olduğundan, hava aracılığıyla sürüklenerek tam yanmadan yatağın dışına taşınan küçük linyit tanecikleri, bu fraksiyonu içeren karışımların yayınımlarının düşük kalmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, linyit boyutunun küçüklüğü gözeneklilik ve yüzey alanı arttırdığından dolayı, yatak malzemesi olarak - CaO içeriği çok düşük olsa da- kumun kullanıldığı deneylerde SO₂'nin CaO tarafından tutularak CaSO₃ oluşurması da yayınının düşük kalmasının yardımcı bir nedeni olarak görülebilir.

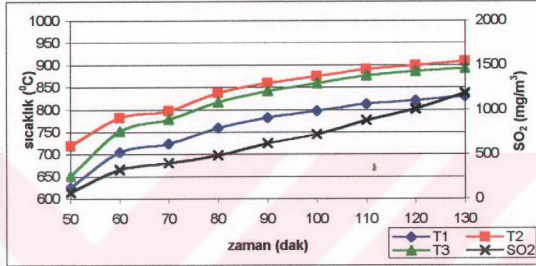
4.2.3. Hava Fazlasının SO₂ Yayınına Etkisi

Hava fazlalığının kükürt dioksit yayını üzerindeki etkisi 0.6-1.0 mm'lik kum içeren akışkan yataкта stokiyometrik hava miktarının %20 ve %30 fazlası kullanılarak yapılan çalışmalarda incelenmiş ve sonuçlar Şekil 4.11 ile Şekil 4.12'de verilmiştir. Bu çalışmalarda 1.0-1.9 mm ve 2.7-3.3 mm'lik linyit fraksiyonlarının %50 linyit-%50 prina içeren karışımları kullanılmıştır.

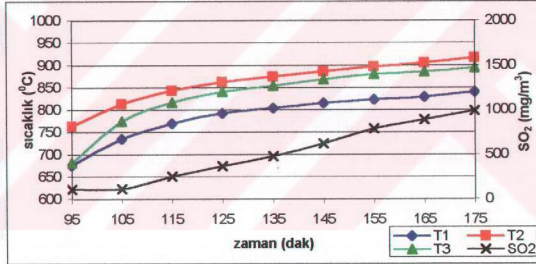
Bu deney grubunda yapılan tüm çalışmalarda SO₂ yayınıları yanma süresince büyük bir değişiklik göstermemiş ve belirli bir aralıkta kalmıştır. Hava fazlalığı ve dolayısıyla hava hızının artmasıyla özellikle küçük taneciklerin sürüklenerek yatağın dışına taşınması beklenirken, yapılan deneylerde daha farklı sonuçlar elde edilmiştir. Deneylerde, hava fazlalığı arttıkça 2.7-3.3 mm'lik linyit fraksiyonu içeren karışımın SO₂ yayınında düşme görüldükten, 1.0-1.9 mm'lik fraksiyonu içeren karışımın



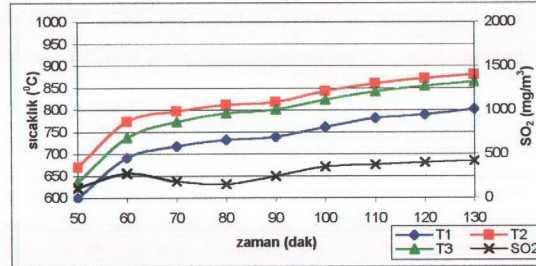
(a)



(b)



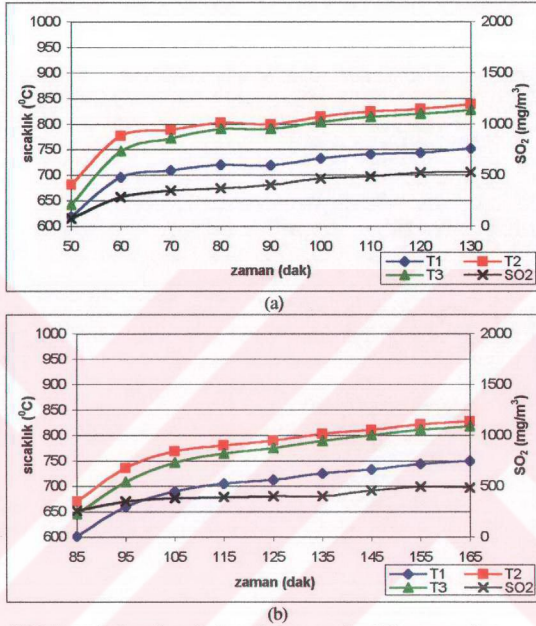
(c)



(d)

Şekil 4.10. 2.7-3.3 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataкта SO₂ yayınımları (YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10). Karışımındaki kömür oranı: a) %100, b) %75, c) %50, d) %25

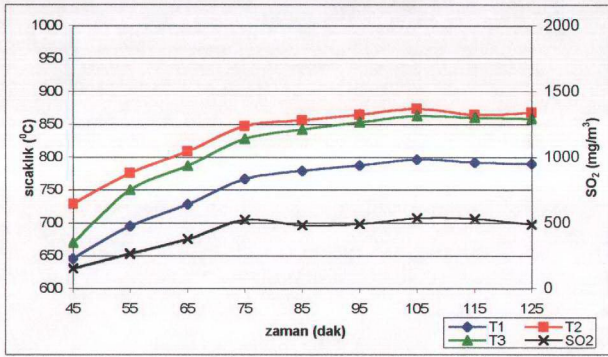
yanması sonucu oluşan kükürt dioksit yayınımları artış göstermiştir. Fakat bu artış çok hızlı ve büyük miktarlarda olmamıştır; dolayısıyla önemli boyutlarda değildir. Buradan hava hızı artırıldıkça büyük taneciklerin de üst bölgelere doğru taşınmaya başladığını ve yayınımlarının bu yüzden azaldığını söyleyebiliriz.



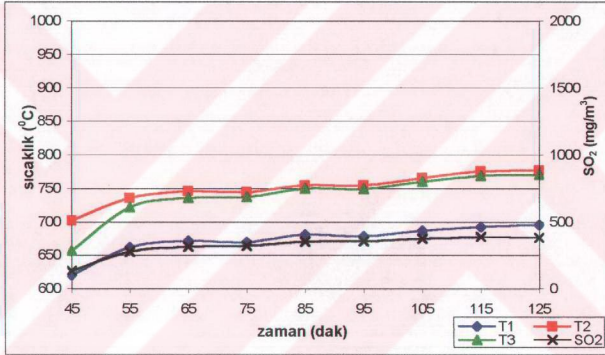
Şekil 4.11. %20 hava fazlası ile çalışılan akışkan yataкта SO_2 yayınımları.
(KO: %50 kömür, YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.340 m³/dak).
Kömür tanecik boyutu: a) 1.0-1.9 mm, b) 2.7-3.3 mm

4.3. Linyit-Prina Karışımının Yanma Sürecindeki NO_x Yayınımları

Akışkan yataklarda yanma sürecinin düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği ve bundan dolayı NO_x yayınımlarının esas olarak yakıtın içerdiği azottan kaynaklandığı bilindiğinden sadece, 1.0-1.9 mm'lik kömür fraksiyonunun prina ile farklı oranlarda karıştırılmasıyla yapılan deneylerde NO_x ölçümü yapılmıştır. Bu deneylerde 0.6-1.0 mm'lik yatak malzemesi kullanılarak %10'luk hava fazlasıyla çalışılmış ve sonuçlar Şekil 4.13'te



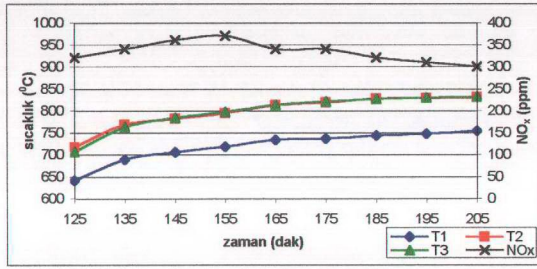
(a)



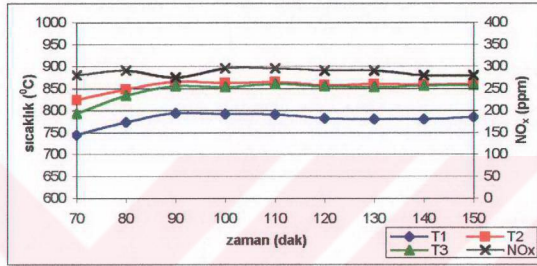
(b)

Şekil 4.12. %30 hava fazlası ile çalışılan akışkan yataкта SO₂ yayınımları.
(KO: %50 kömür; YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.368 m³/dak).
Kömür tanecik boyutu: a) 1.0-1.9 mm, b) 2.7-3.3 mm

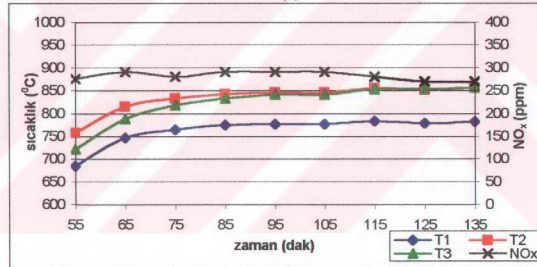
verilmiştir. Prinanın azot içeriği Seyitömer linyitinin azot içeriğinden biraz daha düşük olmakla beraber; elementel analiz sonuçlarından bu çalışmada kullanılan yakıtların azot içeriklerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu yüzden yapılan deneylerde, karışımındaki prina oranının artmasıyla yanma sonucu daha düşük NO_x yayınımları elde edildiği, fakat bütün karışım oranlarında genelde birbirine yakın ve sınırları aşmayacak derecede düşük değerler sağlandığı görülmüştür.



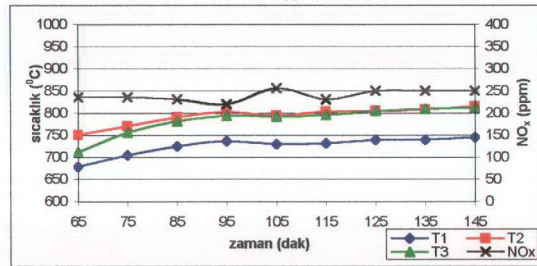
(a)



(b)



(c)



(d)

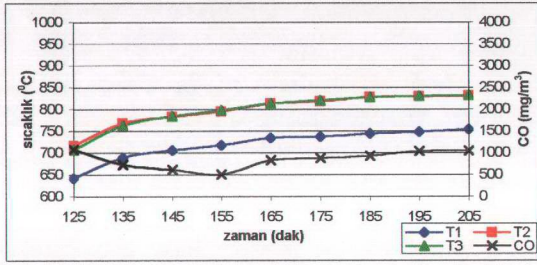
Şekil 4.13. 1.0-1.9 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataktaki NO_x yayınımları (YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10). Karışımdaki kömür oranı: a) %100, b) %75, c) %50, d) %25

4.4. Linyit-Prina Karışımının Yanma Sürecindeki CO ve O₂ Değişimleri

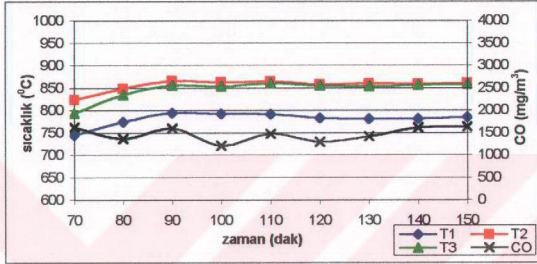
Sıcaklık dağılımı ve yayınımlarla ilgili bölümlerde kullanılan karışım oranları ve kömür tanecik boyutlarıyla yapılan çalışmalarda ortaya çıkan CO yayınımlarının zamana ve sıcaklığa karşı değişimi Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da gösterilmektedir. Bu deneylerde %10 hava fazlasıyla 0-6.1.0 mm boyutundaki yatak malzemesiyle çalışılmıştır.

Akışkan yatakların karışma ve yanma davranımları oldukça karmaşık olduğundan, çalışmalarda gözlenen CO yayınımları sürekli olarak belirli bir değerde kalmamış, fakat koşullara bağlı olarak belirli bir aralık içinde dalgalanmıştır. Çalışma süresinin tamamı gözönüne alındığında; yanmanın kararlı bir şekilde sürdüğü durumlarda CO yayınımları 500-1500 mg/ m³ aralığında bir değişim göstermiştir. Kömür-prina karışım oranının ve kullanılan kömür tanecik boyutunun CO yayınımlarında önemli bir etkisi görülmemesine rağmen, 1.0-1.9 mm'lik tanecik boyutu için yayınının yanma boyunca yukarıda belirtilen aralığın üst sınırlarında kaldığı söylenebilir. Bunun nedeninin küçük taneciklerin yatak içinde tam yanmayı tamamlamadan sürüklenerek taşınmaları olduğu düşünülmektedir. Ayrıca yanma ilerledikçe sıcaklığın arttığı ve özellikle 900⁰C'ye ulaştığı durumlarda CO yayınımlarının hızla artarak 1500 mg/ m³ üstüne çıktığı görülmektedir. Sıcaklığın bu değerin üzerine çıktığı iki deneyde yayınımların 3500 mg/ m³ mertebelerine ulaştığı Şekil 4.16-a ve Şekil 4.16-c'de görülmektedir. Sıcaklık dağılımı bölümünde tartışıldığı ve Şekil 4.16-a'da görüldüğü gibi çalışmada yanma kararlılığı bozulmuş ve yanmanın sonlanmasına doğru hızlı bir yol alış başlamıştır.

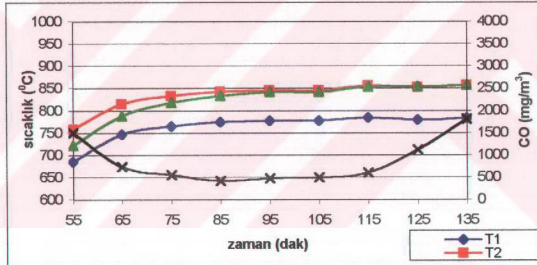
Yukarıda tartışılan şartlardaki O₂ derişimleri ise eklerdeki Şekil A.4.1, Şekil A.4.2 ve Şekil A.4.3'da gösterilmiştir. Bu grafiklerden O₂ derişimlerinin CO yayınımlarıyla ters orantılı olduğu görülmektedir. Yanma başlangıcında daha yüksek olan oksijen derişimleri, yanmanın ilerlemesi ve sıcaklığın artmasıyla azalmaya başlamıştır. Bu değerler çalışmaların genelinde yanma boyunca %13 ile %10 arasında değişmiştir. Yanma ilerledikçe oksijen miktarındaki azalma, sıcaklığın çok yüksek değerlere ulaştığı büyük kömür tanecikleri içeren sistemlerde daha belirgin olmuştur. Bu aynı zamanda yeterli oksijen olmadığından dolayı bu sıcaklıklarda yanmanın tam gerçekleşmemesine ve dolayısıyla CO yayınımlarının da artmasına neden olmuştur.



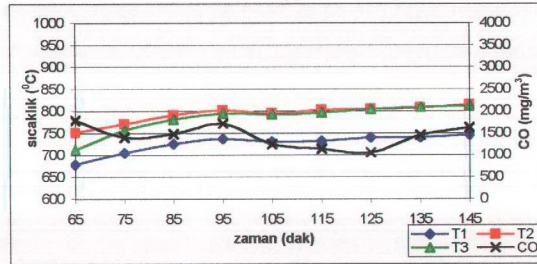
(a)



(b)

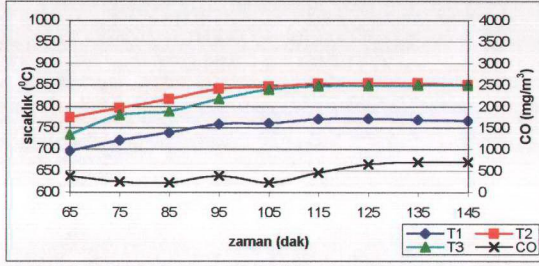


(c)

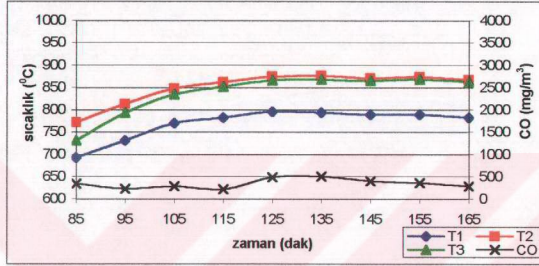


(d)

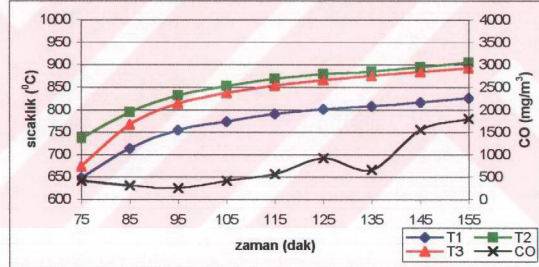
Şekil 4.14. 1.0-1.9 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataktaki CO yayınımları (YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10). Karışımındaki kömür oranı: a) %100, b) %75, c) %50, d) %25



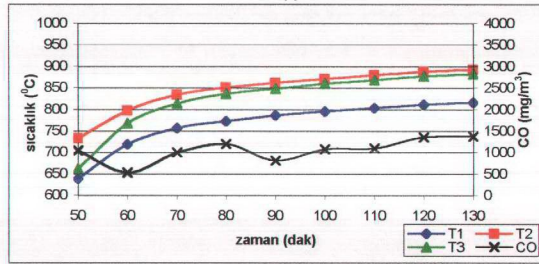
(a)



(b)

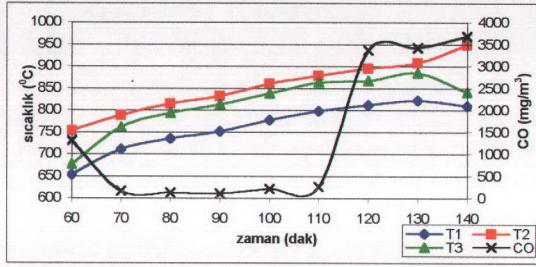


(c)

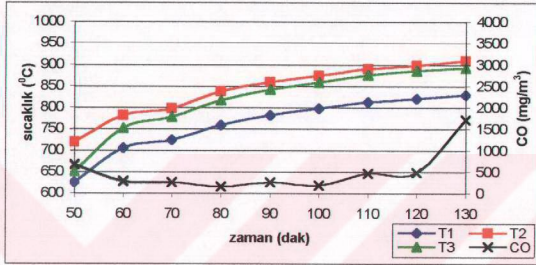


(d)

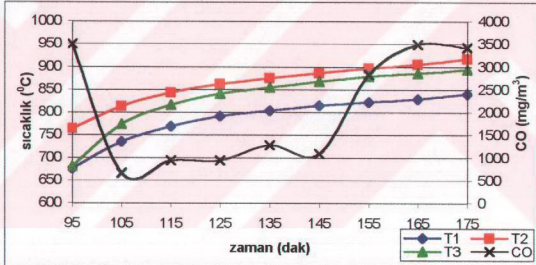
Şekil 4.15. 1.9-2.7 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataktaki CO yayınımları (YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10). Karışımındaki kömür oranı: a) %100, b) %75, c) %50, d) %25



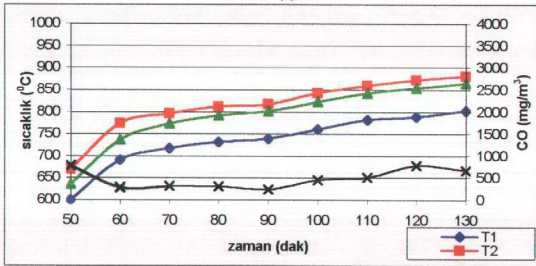
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.16. 2.7-3.3 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataкта CO yayınımları (YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10). Karışımındaki kömür oranı: a) %100, b) %75, c) %50, d) %25

Şekil A.4.3-a ve Şekil A.4.3-c’de CO yayınının 3500 mg/ m³’e ulaştığı durumlarda O₂ yüzdesinin daha da düştüğü görülmektedir.

Hava fazlalığındaki artışın CO yayınına etkisi de eklerdeki Şekil A.4.4 ve Şekil A.4.5’te görülmektedir. Hava miktarının arttırılması, sistemi oksijence daha zengin hale getirir ve tamamlanmamış yanma reaksiyonlarının tamamlanmasını sağlayarak CO miktarının azalmasını sağlar. Aynı zamanda hava fazlalığının artması, bacadan çıkan atık gazların seyreltilerek çıkmasını sağladığından dolayı da CO yayını azaltıcı bir etki gösterir. Şekillerden de görüldüğü gibi hava fazlalığı arttırıldıkça çalışmalarda elde edilen CO yayınımlarında düşme görülmüştür. Bununla beraber O₂ yüzdesi de bir artış göstermiş ve yanma boyunca %14 ile %12 arasında kalmıştır. Oksijen derişimindeki değişimler eklerdeki Şekli A.4.6 ve Şekil A.4.7’de görülebilir.

5. GENEL SONUÇLAR

Deneyisel çalışmalardan elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Linyit-prina karışımları akışkan yataklı yakıcılarda 700-950⁰C sıcaklık aralığında kararlı bir yanma sürdürebilmektedir. Bu yakıt karışımının yanma süreci bu çalışmada incelenen sınırlar içerisinde; karışım oranlarından, linyit ile yatak malzemesinin tanecik boyutundan ve hava fazlalığı gibi parametrelerden önemli ölçülerde etkilenmemiştir.
2. Yatak malzemesi olarak kum kullanılan çalışmalarda, sistem yanma süresince yakıt (liniyit-prina) yüzüşen zengin davranım göstermekte ve bütün çalışma şartlarında, yanma daha çok yatağın üst bölgelerinde gerçekleşmektedir. Bu durum yatak içi sıcaklık dağılımına da yansımaktadır.
3. Değişik kömür ve yatak malzemesi boyutlarıyla çalışılmasına rağmen sistemin yakıt yüzüşen zengin olarak kalması, ayrışmada etken olan parametrenin esas olarak yakıt ile yatak malzemesi arasındaki yoğunluk farkı olduğunu ortaya koymuştur. Linyit ve prina ile kum arasındaki yoğunluk farkı büyük olduğu için çalışmada etkisi incelenen diğer parametrelerin, sistemin karışma ve ayrışma özelliklerine etkisi daha zayıf kalmıştır.
4. Akışkan yataklı yakma sistemlerinde yakılan kömür-prina karışımındaki prina miktarı arttıkça SO₂ yayınımlında önemli bir azalma olduğu görülmüştür. Bu durum prinanın düşük kükürt içeriğinden kaynaklanmaktadır. Bu durumda; ısıl değerinin de Seyitömer linyitinin ısıl değerinden yüksek olduğu bilinen prina, birim enerji eldesi başına atmosfere bıraktığı SO₂ yayınımları gözönüne alındığında çevre dostu bir yakıttır.
5. Çalışmalarda düşük sıcaklıklarda çalışılması NO_x yayınımlarının düşük oranlarda kalmasını sağlamıştır.

KAYNAKLAR

Abu-Qudais, M., 1996. Fluidized-Bed Combustion for Energy Production From Olive Cake, *Energy*, Vol. 21, No. 3, 173-178.

Arioğlu, E., Yüksel, A., 1984. Türkiye Madencilığının Sorunları ve Çözüm Önerileri, Birsen Kitapevi, İstanbul.

Atakül, H., 1986. Çan Bölgesi Linyitlerinin Akışkan Yatakta Yanma Sürecindeki Davranımı, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.

Atımtay, A., 1987. Combustion of Volatile Matter in Fluidized Beds, *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 26, No. 3, 452-456.

Avedesian, M.M., Davidson, J.F., 1973. Combustion of Carbon Particles in a Fluidized Bed, *Trans. Inst. Chem. Eng.* 51, 121-131.

Basu, P., 1985. A Review of Combustion of Single Coal Particles in Fluidized Beds, *Trans. Of CSME*, Vol.9, No.3, 142-150.

Baeyens, J., Geldart, D., 1986. Solids Mixing, in *Gas Fluidization Technology*, Ed. by Geldart, D., Wiley Interscience Publication, New York.

Beér, J.M., 1976. The Fluidised Combustion of Coal, 16th International Symposium on Combustion, Cambridge, 439-459.

Chakraborty, R.K., Howard, J.R., 1978. Burning Rates and Temperatures of Carbon Particles in a Shallow Fluidized Bed Combustors, *J. Inst. Fuel*, 51, 220-224.

Chen, J.L.P., Keairns, D.L., 1975. Particle Segregation in a Fluidized Bed, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 53, 395.

Chiba, S., Nienow, A.W., Chiba, T., Kobayashi, H., 1980. Fluidized Binary Mixtures in Which the Denser Component May Be Flotsam, *Powder Technology*, 26, 1-10.

Cooke, M.J., 1984. Fluidized Bed Combustion for Burning Biomass, *Energy World*, March, 2-7.

Çubuk, H.M., 1998. Orhaneli Linyiti-Biyokütle Karışımının Akışkan Yatakta Yakılmasında Çevre Kirliliğinin İncelenmesi, Doktora Tezi, YÜT, İstanbul.

Davidson, J.R., Clift, R., Harrison, D., 1985. *Fluidization*, Academic Press, New York.

Delebarre, A.B., Pavinato, A., Leroy, J.C., 1994. Fluidization and Mixing of Solids Distributed in Size and Density, *Powder Technology*, 80, 227-233.

Di Felice, R., Coppola, G., Rapagna, S., Jand, N., 1999. Modeling of Biomass Devolatilization in a Fluidized Bed Reactor, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 77, April, 325-332.

Ekinci, E., 1981. Akışkan Yatakta Avgamasya Asfaltinin Yakılması, Doçentlik Tezi, İ.T.Ü. Kimya Fakültesi, Mart.

Ekinci, E., Yalkın, G., Atakül, H., Erdem-Şenatalar, A., 1988. The Combustion of Volatiles from Some Turkish Coals in a Fluidised Bed, *Journal of the Institute of Energy*, 155, December, 189-191.

Ekinci, E., Yardım, F., Atakül, H., 1988. Temperature Profiles in a Lignite Flotsam-Rich Fluidized Bed, *Fuel*, Vol. 67, February, 191-197.

Ekinci, E., Atakül, H., Tolay, M., 1990. Detection of Segregation Tendencies in a Fluidised Bed Using Temperature Profiles, *Powder Technology*, 61, 185-192.

Fan, L.S., 1989. Gas-Liquid-Solid Fluidisation Engineering, Butterworth Publishers.

Garcia-Labiano, F., Adanez, J., Rubiera, F., Fuertes, A.B., Pis, J.J., 1992. Characterization of the Reactivity of Limestones with SO₂ in a Fluidized Bed Reactor, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 70, August, 734-741.

Geldart, D., Baeyens, J., Pope, D.J., Von De Wijer, P., 1981. Segregation in Beds of Large Particles at High Velocities, *Powder Technology*, 30,195.

Geldart, D., 1986. Characterization of Fluidized Powders, in *Gas Fluidization Technology*, Ed. by Geldart, D., Wiley Interscience Publication, New York.

Gürsoy, U., 1999. Dikensiz Gül-Temiz Enerji, İskenderun Çevre Koruma Derneği Yayını.

Haldar, S., Saha, R.K., 1990. On Structural Changes of Lignite Char During Fluidised Bed Combustion, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 68, April, 337-339.

Hein, K.R.G., Bemtgen, J.M., 1998. EU Clean Coal Technology: Co-Combustion of Coal and Biomass, *Fuel Processing Technology*, 54, 159-169.

Henttonen, J., Kojo, I.V., Kortela, U., 1992. Optimising Control of NO_x and SO₂ Emissions in the FBC Process, *Journal of the Inst. Energy*, 65, September, 118-121.

Howard, J.R., 1989. Fluidized Bed Technology Principles and Applications, Adam Hilger, Bristol and New York.

Jenkins, B.M., Baxter, L.L., Miles Jr., T.R., Miles, T.R., 1998. Combustion Properties of Biomass, *Fuel Processing Technology*, 54, 17-46.

Jia, L., Becker, H.A., Code, R.K., 1993. Devolatilization and Char Burning of Coal Particles in a Fluidized Bed Combustor, Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 71, February, 10-18.

Johnsson, J.E., 1994. Formation and Reduction of Nitrogen Oxides in Fluidized-Bed Combustion, Fuel, Vol. 73, No. 9, 1398-1415.

Jung, K., La Nauze, R.D., 1983. Particle Size and Density Changes During Fluidized-bed Combustion, Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 61, April, 262-264.

Kanury, A.M., 1994. Combustion Characteristics of Biomass Fuels, Combust. Sci. and Tech. Vol. 97, 469-491.

Khan, W.Z., Gibbs, B.M., 1996. SO_x Emissions from a Fluidized-Bed Combustor With and Without Limestone Addition, Energy, Vol. 21, No. 2, 105-113.

Khraisha, Y.H., Hamdan, M.A., Qalalweh, H.S., 1998. Direct Combustion of Olive Cake Using Fluidized Bed Combustor, Energy Sources, 21, pp. 319-327.

Kim, J.R., Lee, J.S., Kim, S.D., 1994. Combustion Characteristics of Shredded Waste Tires in a Fluidized Bed Combustor, Energy, Vol. 19, No. 8, 845-854.

Kunii, D., Levenspiel, O., 1977. Fluidization Engineering, Krieger, New York.

La Nauze, R.D., 1982. Coal Devolatilization in Fluidized-Bed Combustors, Fuel, Vol. 61, August, 771-774.

La Nauze, R.D., 1985. Fundamentals of Coal Combustion, in Fluidization, Ed. by Davidson, J.F., Clift, R., Harrison, D., Academic Press Inc., New York.

La Nauze, R.D., 1987. A Review of the Fluidised Bed Combustion of Biomass, Journal of the Institute of Energy, Vol. 66, June, 66-76.

Mulligan, T., Pomeroy, M., Bannard, J.E., 1989. The Mechanism of the Sulphation of Limestone by Sulphur Dioxide in the Presence of Oxygen, Journal of the Inst. Energy, March, 40-47.

Nienow, A.W., Rowe P.N., Chiba, T., 1978. Mixing and Segregation of a Small Proportion of Large Particles in Gas Fluidized Beds of Considerably Smaller Ones, AIChE Symposium Series, No. 176, Vol. 74, 45-53.

Nienow, A.W., Chiba, T., 1985. Fluidization of Dissimilar Materials, in Fluidization, 2. Ed., Academic Press, London.

Pillai, K.K., 1981. The Influence of Coal Type on Devolatilization and Combustion in Fluidized Beds, Journal of the Institute of Energy, 54, September, 142-150.

Pillai, K.K., 1985. Devolatilization and Combustion of Large Coal Particles in a Fluidized Bed, Journal of the Institute of Energy, March, 3-7.

Plinke, E., Atak, N., Haasis, H.D., Rentz, O., 1992. Emission Control Strategies for Turkey in View of an Integration into the European Community, *Int. Journal of Energy Research*, 16, 223-239.

Roscoe, J.C., Witkowski, A.R., Harrison, D., 1980. The Temperature of Coke Particles in a Fluidised Combustor, *Trans.Inst. Chem. Engineers*, Vol.58, 69-72.

Rowe, P.N., Partridge, B.A., 1962. Proc. Symp. Interaction Between Fluids and Particles, *Instn. Chem. Engrs.*, 135.

Rowe, P.N., Nienow, A.W., 1976. Particle Mixing and Segregation in Gas Fluidized Beds, A Review, *Powder Technology*, 15, 141-147.

Saxena, S.C., Rao, N.S., Rao, V.G., Koganti, R.R., 1992. Coal Combustion Studies in a Fluidized-Bed Test Facility, *Energy*, Vol.17, No.6, 579-591.

Saxena, S.C., Dewan, S.S., 1996. Co-Combustion and Fluidized-Bed Incineration of Cellulose Pellets, *Energy*, Vol. 21, No. 10, 889-897.

Saxena, S.C., Wu, W.Y., Fei, M.B., 1997. Fluidized-Bed Combustion of Coal, *Energy*, Vol.22, No.11, 1029-1040.

Saxena, S.C., 1998. Fluidized-Bed Incineration of Cellulose Pellets: Combustion and Co-Combustion, *Energy Convers. Mgmt.*, Vol. 39, No. ½, 127-141.

Selçuk, N., Kırmızıgül, Ü., 1991. Characteristics of a Fluidised-Bed Combustor Burning Low-quality Lignite, *Journal of the Institute of Energy*, 64, September, 151-156.

Shafey, H.M., Taha, I.S., 1992. Experimental Study on a Bench-Scale, Batch-Type Fluidized-Bed Combustor for Energy Production from Waste-Derived Fuels, *Energy*, Vol. 17, No. 4, 331-338.

Shen L., Zhang, M., 1998. Effect of Particle Size on Solids Mixing in Bubbling Fluidized Beds, *Powder Technology*, 97, 170-177.

Tolay, M., 1994. Akışkan Yatakta Ayrışma ve Aglomerasyon Rejimlerinin Sıcaklık Ölçümleri İle İncelenmesi, *Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul*.

Tomeczek, J., Remarczyk, L., 1986. The Mode of Combustion of Coal in a Fluidised Bed, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 64, October, 871-873.

Turnbull, E., Davidson, J.F., 1984. Fluidized Combustion of Char and Volatiles from Coal, *AIChE Journal*, Vol.30, No.6, November, 881-889.

Türe, S., Özdoğan, S., Saygın, Ö., 1994. Biyokütleden Enerji Üretimi, *Türkiye 6. Enerji Kongresi*, İzmir, 486-493.

Unanimous, 1991. Green Energy-Biomass Fuels and The Environment, United Nations Environment Programme (UNEP), United Nations Publications, New York.

Urkan, M.K., Arıkol, M., 1994. Burning Times of Volatiles from Turkish Coals During Fluidized Bed Combustion, *Fuel*, Vol. 73, Number 5, 768-772.

Uzun, D. Türe, S., Erdallı, Y., 1997. Biyokütleden Enerji Eldesi, MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü.

Waters, P.L., 1975. Factors Influencing the Fluidized Combustion of Low-Grade Solid and Liquid Fuels, *Institute of Fuel Symp. Ser. No.1: Fluidized Combustion*, Paper C6, London.

Wereko-Brobby, C.Y., Hagan, E.B., 1996. *Biomass Conversion and Technology*, John Wiley & Sons.

White, L.P., Plaskett, L.G., 1981. *Biomass as Fuel*, Academic Press, London.

Wojtowitz, M.A., Pels, J.R., Moulijn, J.A., 1994. N₂O Emission Control in Coal Combustion, *Fuel*, Vol. 73, No. 9, 1416-1422.

Wu, S.Y., Baeyens, J., 1998. Segregation by Size Difference in Gas Fluidized Beds, *Powder Technology*, 98, 139-150.

Yates, J.G., Walker, P.R., 1978. Particle Temperatures in a Fluidised Bed Combustor, in *Fluidization*, Ed. by Davidson J.R., Keairns, D.L., Cambridge University Press, 241-245.

Zhang, J.Q., Jones, W.E., Lau, I.T., Friedrich, F.D., 1992. Effects of Fuel Type and Operating Conditions on SO₂ Emission in Fluidized Bed Combustion, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 70, October, 998-1006.

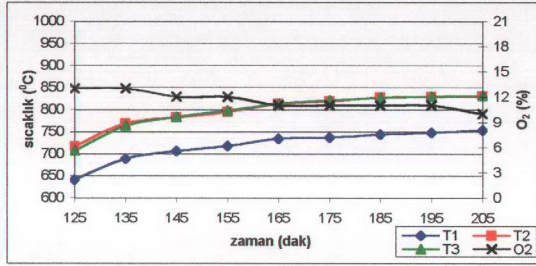
Anonim, 1989. Ortak Geleceğimiz, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu Raporu, 2. Baskı, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ankara.

Anonim, 1993. Dünyanın Durumu, Worldwatch Enstitüsü Raporu-Sürdürülebilir Bir Yaşama Giden Yolun Neresindeyiz?, No:4, Tema Vakfı Yayınları.

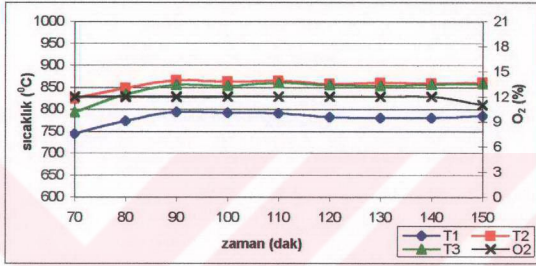
EKLER

Zaman ve sıcaklığa karşı CO ve O₂ derişimleri

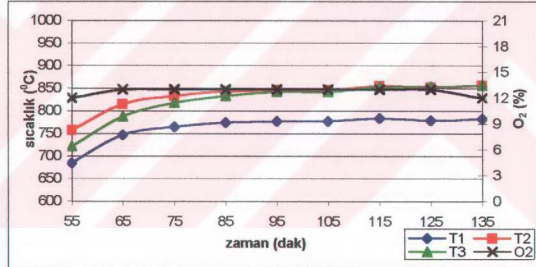




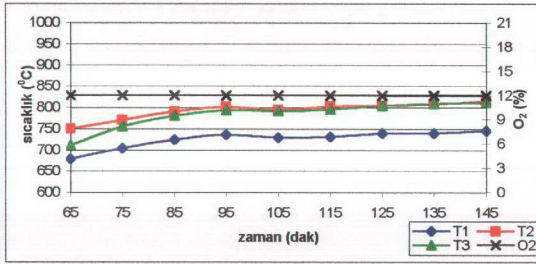
(a)



(b)

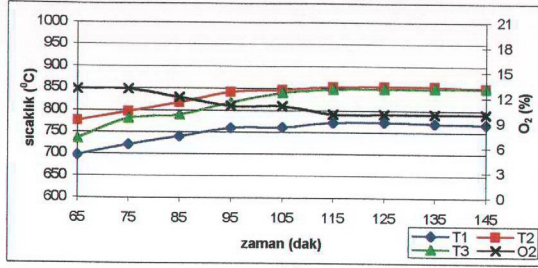


(c)

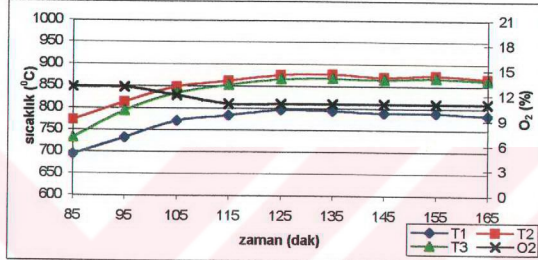


(d)

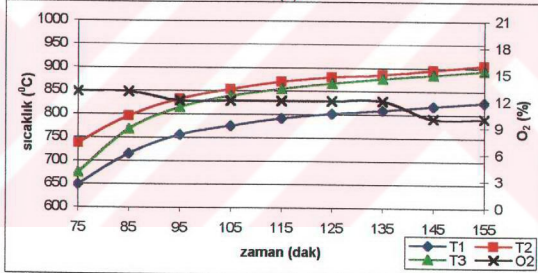
Şekil A.1. 1.0-1.9 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataкта O₂ derişimleri (YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10). Karışımındaki kömür oranı: a) %100, b) %75, c) %50, d) %25



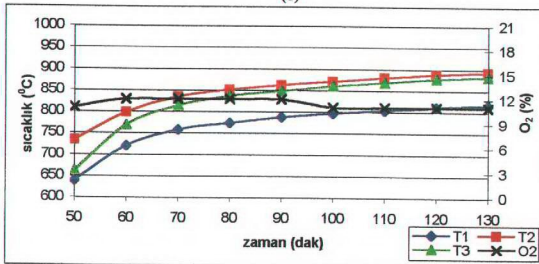
(a)



(b)

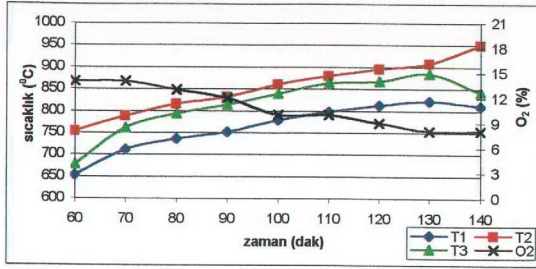


(c)

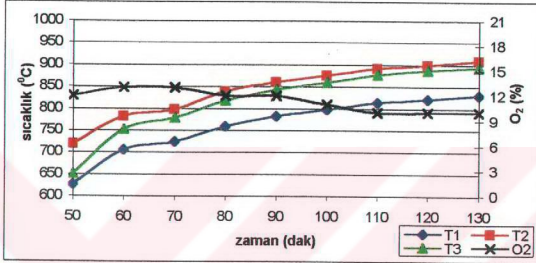


(d)

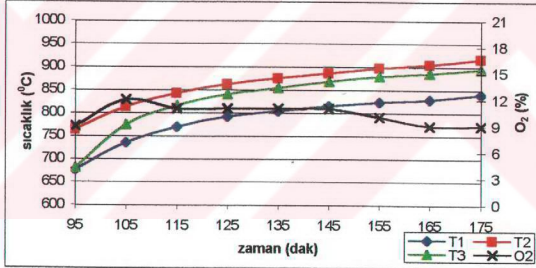
Şekil A.2. 1.9-2.7 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataкта O_2 derişimleri (YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10). Karışımındaki kömür oranı: a) %100, b) %75, c) %50, d) %25



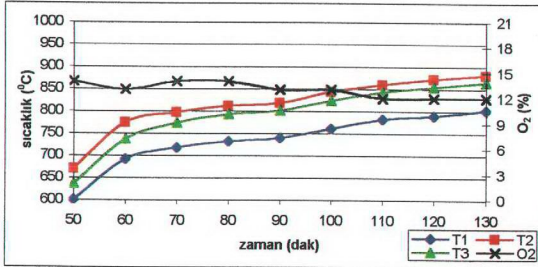
(a)



(b)

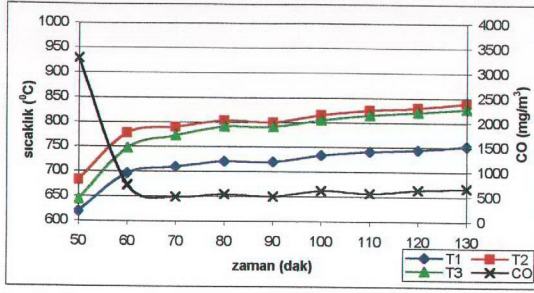


(c)

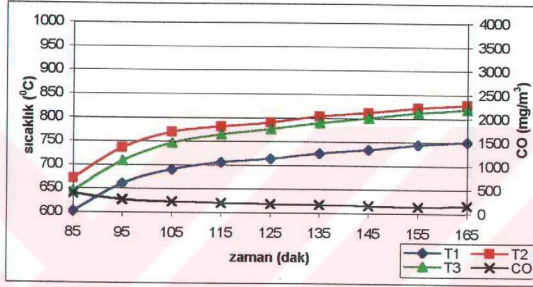


(d)

Şekil A.3. 2.7-3.3 mm boyutunda kömür içeren karışımların yandığı akışkan yataкта O_2 derişimleri (YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.311 m³/dak; HF: %10). Karışımdaki kömür oranı: a) %100, b) %75, c) %50, d) %25

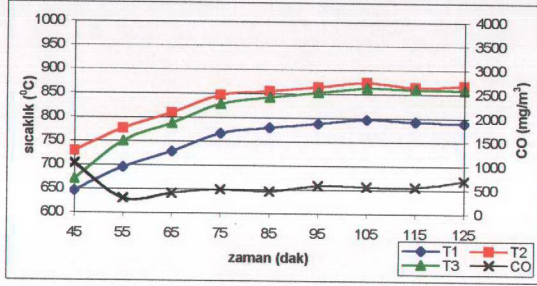


(a)

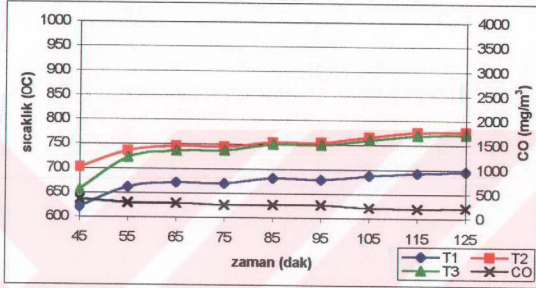


(b)

Şekil A.4. %20 hava fazlası ile çalışılan akışkan yataкта CO yayınımları.
(KO: %50 kömür; YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.340 m³/dak).
Kömür tanecik boyutu: a) 1.0-1.9 mm, b) 2.7-3.3 mm

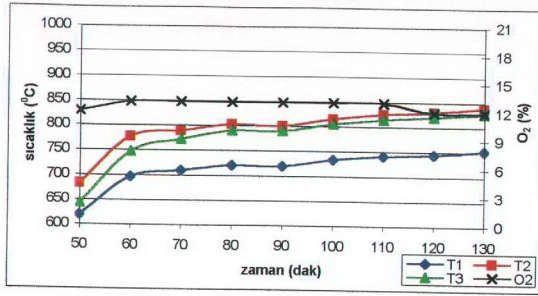


(a)

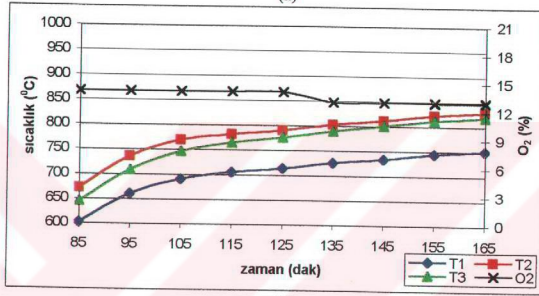


(b)

Şekil A.5. %30 hava fazlası ile çalışılan akışkan yataкта CO yayınımları.
(KO: %50 kömür; YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.368 m³/dak).
Kömür tanecik boyutu: a) 1.0-1.9 mm, b) 2.7-3.3 mm



(a)

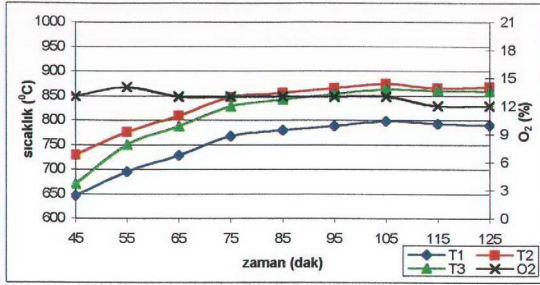


(b)

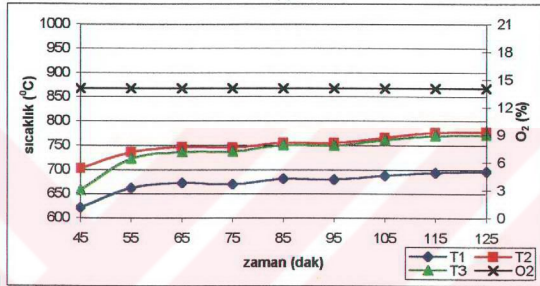
Şekil A.6. %20 hava fazlası ile çalışılan akışkan yataкта O₂ derişimi.

(KO: %50 kömür; YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.340 m³/dak).

Kömür tanecik boyutu: a) 1.0-1.9 mm, b) 2.7-3.3 mm



(a)



(b)

Şekil A.7. %30 hava fazlası ile çalışılan akışkan yataкта O₂ derişimi.

(KO: %50 kömür; YM: Kum 0.6-1.0 mm; HD: 0.368 m³/dak).

Kömür tanecik boyutu: a) 1.0-1.9 mm, b) 2.7-3.3 mm