

**BAZI TÜRK LİNYİTLERİNİN
AKIŞKAN YATAKTA YANMA ÖZELLİKLERİ
VE AGLOMERASYONLARININ İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Bilgin HİLMİOĞLU
(691.D018)**

100802

TEZİN ENSTİTÜYE VERİLDİĞİ TARİH : 15 ŞUBAT 1999
TEZİN SAVUNULDUĞU TARİH : 4 ŞUBAT 2000

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Şubat 1999

Tezin Savunulduğu Tarih : 4 Şubat 2000

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Hüsnü ATAĞÜL
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hüseyin VURAL (O.D.T.Ü.)
Prof.Dr. Mahir ARIKOL (B.Ü.)
Prof.Dr. Ekrem EKİNCİ (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Hasancan OKUTAN (İ.T.Ü.)

[Signatures of the jury members]

ŞUBAT 2000

ÖNSÖZ

Nüfus artışı, sanayileşme ve hayat standartlarının yükselmesine paralel olarak ülkemizin enerji gereksinimi hızla artmaktadır. Türkiye'nin en önemli enerji kaynaklarından birisi olan linyitler, son derece yüksek bir kirlenme potansiyeline sahip olup, bunları kısa vadede ve temiz bir şekilde değerlendirmenin yolu; uygun ve modern teknolojiler kullanmaktır. Bu açıdan bakıldığında, akışkan yataklı yakma sistemleri en önemli seçenekler arasında yer almaktadır.

Bu çalışmada önemli linyit kaynaklarımızdan bazılarının akışkan yatak yanma sürecindeki temel karakteristikleri incelenerek, özellikle kararlı yanma koşulları ve kirlenici gaz yayınımları ile aglomerasyon eğilimleri deneysel olarak belirlenmiştir.

Tez çalışmam boyunca her türlü desteğini esirgemeyen, adeta benim için benden çok çalışarak, hocalığının yanı sıra dostluğunu da gösteren çok değerli hocam Sn. Prof. Dr. Hüsnü ATAÖL 'e çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca her zaman yol gösterici olan, araştırmacı ruhunu hep canlı tutan, bu konuları bizlere sevdiren değerli hocam Sn. Prof. Dr. Ekrem EKİNCİ 'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca beni destekleyen başta değerli hocamız Anabilim Dalı Başkanı Sn. Prof. Dr. Ayşe ERDEM-ŞENATALAR olmak üzere, tüm Proses ve Reaktör Tasarımı Anabilim Dalı elemanlarına, çalışmamın önemli bir bölümünü oluşturan aglomere kütlelerin incelenmesinin gerçekleştirilebilmesi için Elektron Mikroskobu Laboratuvarını bana açan Sn. Prof. Dr. Okan ADDEMİR 'e ve tüm laboratuvar çalışanlarına, ayrıca emeği geçen tüm Kimya-Metalurji Fakültesi çalışanlarına teşekkür ederim.

Tezimin hazırlanması sırasında sabır ve ilgiyle beni yalnız bırakmayan sevgili eşim Dr. Yük. Müh. Nilüfer DURMAZ-HİLMİOĞLU 'na ne kadar teşekkür etsem azdır. Ayrıca, tüm yaşamım boyunca sonsuz özverileriyle beni destekleyen, bugünlere gelmemde büyük katkıları olan anneme ve ağabeyime sonsuz teşekkür ederim.

Şubat 1999

Kim.Yük.Müh. Bilgin HİLMİOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ VE AMAÇ	1
BÖLÜM 2 AKIŞKAN YATAKLI YAKMA SİSTEMLERİ	5
2.1. Akışkanlaşma	5
2.2. Akışkan Yatakta Yanma	7
2.3. Akışkan Yatakta Yanmayı Etkileyen Faktörler	10
2.4. Akışkan Yatakta Yanmanın Üstünlükleri	12
2.5. Akışkan Yataklarda Ayrışma	13
2.5.1. Yüzüşen ve Batışan Zengin Sistemler	13
2.6. Kömür Yakılan Akışkan Yataklarda Aglomerasyon	15
BÖLÜM 3 DENEYSEL ÇALIŞMA	19
3.1. Linyit ve Yatak Malzemesi Numunelerinin Tanımlanması	19
3.2. Numunelere Uygulanan Analizler	19
3.2.1. Kısa, Elementel Analiz ve Isıl Değer Tayini	20
3.2.2. Küllerin Kimyasal Analizi	21
3.2.3. Küllerin Özgül Sıcaklıklarının Tayini	21
3.2.4. Linyit ve Yatak Malzemesi Numunelerinin Minimum Akışkanlaşma ve Terminal Hızları	21
3.2.5. Linyit Numunelerinin Kırılgenlikleri	22
3.2.6. Dolomitte Yapılan Analizler	23
3.3. Deney Düzeneği	23
3.3.1. Akışkan Yatak, Ateşleme ve Besleme Sistemleri	23

3.3.2. Gaz Analiz Sistemi	26
3.3.3. Bilgisayarlı Kontrol ve Veri Toplama Sistemi	27
3.4. Deneylerin Yürütülmesi	28
BÖLÜM 4 BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	29
4.1. Beypazarı Linyitinin Akışkan Yatakta Yanma Sürecinin Özellikleri	31
4.2. Kısırakdere Linyitinin Akışkan Yatakta Yanma Sürecinin Özellikleri	41
4.3. Tunçbilek Linyitinin Akışkan Yatakta Yanma Sürecinin Özellikleri	49
4.4. Çan Linyitinin Akışkan Yatakta Yanma Sürecinin Özellikleri	53
4.5. Yatağan Linyitinin Akışkan Yatakta Yanma Sürecinin Özellikleri	53
4.6. Linyitlerin Akışkan Yatak Yanma Sürecindeki SO ₂ Yayınımının Değişimi	61
4.7. Linyitlerin Akışkan Yatakta Yanma Kararlılığı	64
4.8. Linyitlerin Aglomerasyonu	74
4.8.1. Linyitlerin Aglomerasyon Özellikleri ve Anorganik Yapıları Arasındaki İlişki	79
4.8.2. Aglomerasyon ile Akışkan Yatakta Biriken Bazik Oksit Miktarı İlişkisi	85
4.8.3. Aglomerasyon ile Külün Özgül Sıcaklıkları Arasındaki İlişki	86
4.9. Aglomere Kütlelerin Elektronmikroskopik İncelenmesi	94
BÖLÜM 5 GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
5.1. Genel Sonuçlar	105
5.2. Öneriler	106
KAYNAKLAR	108
EKLER	112
ÖZGEÇMİŞ	119

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Türkiye 'de fosil yakıtların tüketiminin yıllara göre değişimi.	1
Tablo 1.2 Türkiye 'de fosil dışı yakıtların tüketiminin yıllara göre değişimi.	2
Tablo 1.3 Kükürtdioksidin insan sağlığı üzerinde yaptığı olumsuz etkiler.	3
Tablo 2.1 İki bileşenli sistemlerde taneciklerin davranımı.	14
Tablo 3.1 Linyit numunelerinin kısa analizleri.	20
Tablo 3.2 Linyit numunelerinin elementel analizleri.	20
Tablo 3.3 Linyit numunelerinin içerdiği kükürt türleri.	20
Tablo 3.4 Linyit küllerinin kimyasal analizi.	21
Tablo 3.5 Linyit numunelerinin özgül kül sıcaklıkları (°C).	21
Tablo 3.6 Linyit ve yatak malzemesi numunelerinin ortalama minimum akışkanlaşma ve terminal hız değerleri.	22
Tablo 3.7 Linyit numunelerinin kırılabilirlik değerleri	22
Tablo 3.8 Dolomitin kimyasal analiz değerleri.	23
Tablo 4.1 Akışkan yatak yanma deneylerinin koşulları.	30
Tablo 4.2 Linyit numunelerinin akışkan yatakta yanması sırasında .yanma gazlarında ölçülen en yüksek SO ₂ yayını değerleri.	64
Tablo 4.3 Linyit numunelerinin akışkan yatak yanma sürecinde aglomerasyon koşulları.	78
Tablo 4.4 Linyit kullanılarak 10 ⁶ kaloriklik ısı enerjisinin üretilmesi sonucunda akışkan yatakta biriken çeşitli bileşiklerin maksimum miktarları.	86
Tablo 4.5 Linyitlerin aglomerasyon sıcaklıkları ile özgül sıcaklıkları arasındaki fark (°C).	88

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Akışkanlaşmanın aşamaları ve akışkan yatak.	6
Şekil 2.2	Akışkan yataklı yakıcılarda işlevsel bölgeler	8
Şekil 3.1	Akışkan Yataklı Yakma Sistemi	24
Şekil 4.1	Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yatakta eksenel yöndeki sıcaklık dağılımları (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	32
Şekil 4.2	Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yatakta CO yayılım profilleri (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	35
Şekil 4.3	Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yatakta O ₂ derişim profilleri (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	36
Şekil 4.4	Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yatakta eksenel yöndeki sıcaklık dağılımları (YM: Kuartz 1.0 -1.4 mm)	38
Şekil 4.5	Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yatakta CO yayılım profilleri (YM: Kuartz 1.0-1.4 mm)	39
Şekil 4.6	Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yatakta O ₂ derişim profilleri (YM: Kuartz 1.0-1.4 mm)	40
Şekil 4.7	Kısrakdere linyitinin yandığı akışkan yatakta eksenel yöndeki sıcaklık dağılımları (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	42
Şekil 4.8	Kısrakdere linyitinin yandığı akışkan yatakta CO yayılım profilleri (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	43
Şekil 4.9	Kısrakdere linyitinin yandığı akışkan yatakta O ₂ derişim profilleri (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	44
Şekil 4.10	Kısrakdere linyitinin yandığı akışkan yatakta eksenel yöndeki sıcaklık dağılımları (YM: Dolomit 0.6-1.0 mm)	46
Şekil 4.11	Kısrakdere linyitinin yandığı akışkan yatakta CO yayılım profilleri (YM: Dolomit 0.6-1.0 mm)	47
Şekil 4.12	Kısrakdere linyitinin yandığı akışkan yatakta O ₂ derişim profilleri (YM: Dolomit 0.6-1.0 mm)	48
Şekil 4.13	Tunçbilek linyitinin yandığı akışkan yatakta eksenel yöndeki sıcaklık dağılımları (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	50
Şekil 4.14	Tunçbilek linyitinin yandığı akışkan yatakta CO yayılım profilleri (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	51
Şekil 4.15	Tunçbilek linyitinin yandığı akışkan yatakta O ₂ derişim profilleri (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	52
Şekil 4.16	Çan linyitinin yandığı akışkan yatakta eksenel yöndeki sıcaklık dağılımları (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	54
Şekil 4.17	Çan linyitinin yandığı akışkan yatakta CO yayılım profilleri (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	55
Şekil 4.18	Çan linyitinin yandığı akışkan yatakta O ₂ derişim profilleri (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	56

Şekil 4.19	Yatağan linyitinin yandığı akışkan yatakta eksenel yöndeki sıcaklık dağılımları (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	58
Şekil 4.20	Yatağan linyitinin yandığı akışkan yatakta CO yayılım profilleri (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	59
Şekil 4.21	Yatağan linyitinin yandığı akışkan yatakta O ₂ derişim profilleri (YM: Kuartz 0.6-1.0 mm)	60
Şekil 4.22	Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yatakta ölçülen SO ₂ yayılım profilleri	62
Şekil 4.23	Çan linyitinin yandığı akışkan yatakta ölçülen SO ₂ yayılım profilleri	62
Şekil 4.24	Tunçbilek linyitinin yandığı akışkan yatakta ölçülen SO ₂ yayılım profilleri	62
Şekil 4.25	Yatağan linyitinin yandığı akışkan yatakta ölçülen SO ₂ yayılım profilleri	63
Şekil 4.26	Kısırakdere linyitinin yandığı akışkan yatakta ölçülen SO ₂ yayılım profilleri (YM: Kuartz)	63
Şekil 4.27	Kısırakdere linyitinin yandığı akışkan yatakta ölçülen SO ₂ yayılım profilleri (YM: Dolomit)	63
Şekil 4.28	Beypazarı linyitinin akışkan yatakta sürüklenmesinin zaman ve akışkanlaşma hızı ile değişimi	67
Şekil 4.29	Çan linyitinin akışkan yatakta sürüklenmesinin zaman ve akışkanlaşma hızı ile değişimi	67
Şekil 4.30	Termal şok sonrası Beypazarı linyitinin akışkan yatakta sürüklenmesi	69
Şekil 4.31	Termal şok sonrası Çan linyitinin akışkan yatakta sürüklenmesi	69
Şekil 4.32	Sürüklenen kömür miktarının tanecik boyutu ile değişimi	70
Şekil 4.33	Linyit numunelerinin SEM fotoğrafları: a)Beypazarı, b)Çan, c)Kısırakdere, d)Tunçbilek ve e)Yatağan	71
Şekil 4.34	Akışkan yataklı bir yakıcıda aglomerasyonun oluşumu ve gelişmesi	75
Şekil 4.35	Aglomerasyonun gelişmesi: a) batışan zengin, b) yüzüşen zengin yanmanın gerçekleştiği akışkan yataklar	79
Şekil 4.36	Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının Na ₂ O içeriği ile değişimi	81
Şekil 4.37	Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının K ₂ O içeriği ile değişimi	81
Şekil 4.38	Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının CaO içeriği ile değişimi	81
Şekil 4.39	Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının MgO içeriği ile değişimi	81
Şekil 4.40	Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının Fe ₂ O ₃ içeriği ile değişimi	82
Şekil 4.41	Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının Al ₂ O ₃ içeriği ile değişimi	82
Şekil 4.42	Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının SiO ₂ içeriği ile değişimi	82

Şekil 4.43	Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının SO_3 içeriği ile değişimi	82
Şekil 4.44	Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ içeriği ile değişimi	83
Şekil 4.45	Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{MgO} + \text{CaO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ içeriği ile değişimi	83
Şekil 4.46	Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ içeriği ile değişimi	83
Şekil 4.47	Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının B/A oranı ile değişimi	83
Şekil 4.48	Aglomerasyon sıcaklığının akışkan yatakta biriken Na_2O miktarı ile değişimi (Temel 10^6 cal enerji üretimi)	87
Şekil 4.49	Aglomerasyon sıcaklığının akışkan yatakta biriken $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ miktarı ile değişimi (Temel 10^6 cal enerji üretimi)	87
Şekil 4.50	Aglomerasyon sıcaklığının akışkan yatakta biriken $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı ile değişimi (Temel 10^6 cal enerji üretimi)	87
Şekil 4.51	Linyitlerin aglomerasyon sıcaklıkları ile özgül kül sıcaklıkları arasındaki ilişki	90
Şekil 4.52	Linyit numunelerinin akışkan yatak yanma sürecinde oluşan aglomere kütlelerin fotoğrafları: a)Beypazarı, b)Çan, c)Kısrakdere (YM: kum), d)Kısrakdere (YM: dolomit), e)Tunçbilek ve f)Yatağan	91
Şekil 4.53	Linyit yakan akışkan yatakta oluşan aglomere kütlelerin SEM fotoğrafları: a)Beypazarı, b)Çan, c)Tunçbilek, d)Yatağan	95
Şekil 4.54	Çan linyitinin akışkan yatakta yanması sırasında oluşan aglomere kütlenin SEM fotoğrafı ve Na, K, Ca elementlerinin dağılımları	98
Şekil 4.55	Tunçbilek linyitinin akışkan yatakta yanması sırasında oluşan aglomere kütlenin SEM fotoğrafı ve Na, K, Ca elementlerinin dağılımları	100
Şekil 4.56	Yatağan linyitinin akışkan yatakta yanması sırasında oluşan aglomere kütlenin SEM fotoğrafı ve Na, K, Ca elementlerinin dağılımları	102

SEMBOL LİSTESİ

F_k	: Kömür besleme debisi (g/dak.)
h	: Akışkan yatak yüksekliği
h_s	: Statik yatak yüksekliği
h_D	: Dinamik yatak yüksekliği
T	: Sıcaklık (°C)
T_1	: Akışkan yatakta dağıtıcı elekten itibaren 50 mm 'deki sıcaklık (°C)
T_2	: Akışkan yatakta dağıtıcı elekten itibaren 150 mm 'deki sıcaklık (°C)
T_3	: Akışkan yatakta dağıtıcı elekten itibaren 300 mm 'deki sıcaklık (°C)
T_{Ag}	: Aglomerasyon sıcaklığı (°C)
T_D	: Kül deformasyon başlangıç sıcaklığı (°C)
T_s	: Kül yumuşama sıcaklığı (°C)
T_H	: Kül yarı-küreselleşme sıcaklığı (°C)
T_F	: Kül ergime sıcaklığı (°C)
u	: Akışkan hızı (m/s)
u_{mf}	: Minimum akışkanlaşma hızı (m/s)
u_{op}	: Operasyon hızı (m/s)
ΔP_b	: Dinamik yatak basınç düşüşü (mm SS)
ΔP_d	: Dağıtıcı elek basınç düşüşü (mm SS)
ΔP_t	: Toplam basınç düşüşü (mm SS)
η	: Hava fazlalık oranı (%)

BAZI TÜRK LİNYİTLERİNİN AKIŞKAN YATAKTA YANMA ÖZELLİKLERİ VE AGLOMERASYONLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Akışkan yatak yanma teknolojisi yeni bir teknoloji olup, düşük kaliteli katı fosil yakıtları etkin ve çevre açısından daha temiz bir şekilde yakılması için kullanılmaktadır. Bu teknolojinin uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır. Ancak yanma özellikleri birbirinden farklı olduğundan, kömürlerin tek tek yakılarak akışkan yatakta yanma özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Diğer taraftan, akışkan yatakta kararlı bir akışkanlaşma ve etkin bir yanma sağlamak için aglomerasyon olayının önlenmesi gerekmektedir. Aglomerasyon kavramı, kömür, kül ve yatak malzemesi taneciklerinin, çeşitli nedenlerle, birbirlerine yapışarak sinterleştiği bir yoğunlaşma olayıdır. Aglomerasyon, akışkan yatakta durgunlaşma (defluidization), ısı aktarımının bozulması, ısı aktarım yüzeylerinin kirlenmesi ve klinkerleşme gibi problemlere yol açmaktadır. Daha ciddi durumlarda ise, bu olay akışkanlaşmanın bozulmasına, yanmanın tamamen son bulmasına ve yakıcının tümü ile devre dışı kalmasına neden olmaktadır.

Akışkan yatakta kömürün aglomerasyonu, başta yatak içeriğinin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile sistemin çalışma koşulları olmak üzere, bir çok faktör tarafından etkilenen oldukça karmaşık bir olaydır. Toz (pulverize) kömürlerin sinterleşme mekanizması bir çok araştırmanın konusu olmuştur. Bu çalışmalarda daha çok kömürün anorganik yapısının dönüşmesi üzerinde durulmuştur. Bunun yanında, akışkan yataklarda kömürlerin aglomerasyonu ile ilgili olarak yapılan çalışmalar sınırlı kalmıştır. Akışkan yatak yanma çalışmalarından edinilen deneyimler, kömürlerin akışkan yatakta yanma özelliklerinin birbirinden çok değişik olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada, beş Türk linyit kömürünün akışkan yatakta yanma özellikleri incelenmiştir. Linyit numuneleri, Türkiye'nin değişik bölgelerinden seçilmiştir ve önemli kömür kaynakları arasında yer almaktadır. Bunlar Beypazarı, Çan, Kısırakdere (Soma), Tunçbilek ve Yatağan linyitleridir. Linyit numuneleri %8.62– 23.7 nem, %10.5–37.9 kül, %30.6–47.3 uçucu madde ve %3.4–39.1 oranında sabit karbon içermekte ve üst ısı değerleri 2630–5355 kcal/kg arasında değişmektedir. Linyit numuneleri kırılmış ve 1.0 -1.9, 1.9 -2.7 and 2.7-3.3 mm 'lik fraksiyonlara ayrılarak deneylerde kullanılmıştır.

Deneylerde, 100 mm çapında, paslanmaz çelikten yapılmış, bir akışkan yatak kullanılmıştır. Akışkan yatak 1–10 mm boyutlarında kömür yakabilecek ve sürekli çalışacak şekilde yapılmıştır. 0.6–1.0 mm 'lik kuvars kumu yatak malzemesi olarak kullanılmıştır. Isıl çiftler kullanılarak yatakta, dikey yönde dağıtıcı elekten itibaren 50,

150 ve 300 mm yüksekliklerde sıcaklıklar sürekli bir şekilde ölçülmüş ve bilgisayar ortamında saklanmıştır. Akışkan yatak bir bilgisayar kontrol ünitesi ile donatılmıştır. Hava ve kömür debileri bu ünite vasıtasıyla ayarlanmış ve kontrol edilmiştir. Yine akışkan yatağa bağlı ve sürekli çalışabilen bir gaz analiz ünitesi yardımıyla yanma ürünlerindeki çeşitli gazların yayınımları ölçülmüş ve bilgisayar ortamında saklanmıştır.

Linyit küllerinin analizi standart ASTM yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. Küllerin ergime sıcaklıkları, ASTM D 1857-68 'e göre ve oksitleyici bir atmosferde ölçülmüştür. Cihazın hassasiyeti 5°C ve maksimum ölçme sıcaklığı 1570°C 'dir. Akışkan yatakta oluşan aglomere kütleler ise SEM ve X-ışını teknikleri kullanılarak incelenmiştir.

Deneysel sonuçlar, incelenen linyitlerin akışkan yatakta yanma özelliklerinin birbirinden farklı olduğunu ve yanma süreçlerinin linyitlerin özellikleri ve çalışma koşulları tarafından etkilendiklerini ortaya koymuştur. Linyitlerin yüksek oranlarda uçucu madde içermelerinden dolayı, serbest bölgede de önemli ölçülerde yanmanın gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Özellikle sürüklenme hızı diğer linyitlere kıyasla daha yüksek olan Beypazarı linyitinin yanması sırasında, serbest bölgedeki sıcaklıklar aktif yatak bölgesi sıcaklıkları seviyesinde seyretmiştir. Bu linyitin yanması sırasında yanma gazlarında ölçülen CO yayınımları da diğerlerine kıyasla çok daha yüksek olmuştur. Bu durum bu linyitlerin akışkan yataklarda yanması sırasında yanma veriminin yüksek olabilmesi için serbest bölgede önlem alınması gerektiğini göstermektedir. Linyitlerin yanması sırasında yanma gazlarında ölçülen SO₂ derişimi koşullara bağlı olarak 2 000–20 000 mg/m³ gibi geniş bir aralıkta değişmiştir. En yüksek SO₂ derişimi Beypazarı, en düşük SO₂ derişimi ise Kısırakdere linyiti için ölçülmüştür.

Çalışmada kullanılan linyitlerin aglomerasyon sıcaklıkları akışkan yatağın çalışma koşullarında ölçülmüştür. Elde edilen değerler 870–1120°C aralığında değişmiştir. Linyitlerin aglomerasyon sıcaklıkları (T_{Ag}) ve aglomerasyon sıcaklığı ile başlangıç deformasyon (T_D), yumuşama (T_S), yarı küreselleşme (T_H) ve ergime (T_F) sıcaklıkları arasındaki farklar Tablo 1' de gösterilmiştir. Bu tabloda; $\Delta T_1 = T_D - T_{Ag}$, $\Delta T_2 = T_S - T_{Ag}$, $\Delta T_3 = T_H - T_{Ag}$ ve $\Delta T_4 = T_F - T_{Ag}$ ' dir.

Tablo 1. Linyitlerin Aglomerasyon sıcaklıkları ve aglomerasyon sıcaklığı ile özgül kül sıcaklıkları arasındaki farklar (°C).

Linyit	T_{Ag}	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_4
Beypazarı	990	125	166	230	306
Çan	1050	175	272	298	346
Kısırakdere.	1060	168	238	308	340
Tunçbilek	1020	204	248	315	377
Yatağan	1040	209	235	252	390

Tablodan görüldüğü gibi, bütün linyitler için aglomerasyon sıcaklığının özgül kül sıcaklıklarından düşük olduğu görülmektedir. Burada, ΔT_1 ve ΔT_4 farklarının pozitif değerler olarak sırasıyla, 125–209°C ve 306–390°C arasında değiştiği gözden kaçırılmamalıdır. Akışkan yatakta yanan bir taneciğin sıcaklığının ölçülen yatak sıcaklığından yaklaşık olarak 100–150°C daha yüksek olduğu göz önüne alındığında, yatak sıcaklıklarının kül deformasyon sıcaklıklarına ulaşmasından sonra aglomerasyonun başlayabileceği söylenebilir. Buna karşın, hem aglomerasyon başlama ve hem de tanecik sıcaklıkları kül ergime sıcaklığının bir hayli altında kalmaktadır. Başka bir ifade ile, aglomerasyon bütün linyitler için kül ergime sıcaklıklarına ulaşmadan başlamaktadır. Buna karşın, aglomerasyon eğilimi ile özgül kül sıcaklıkları arasında bir paralellik göze çarpmaktadır. Özgül sıcaklıkları yüksek olan linyitlerin aglomerasyon sıcaklıklarının daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ancak bu ilişki sistematik ve düzenli bir ilişki olarak görülmemektedir.

Agglomerasyon eğilimi, küllerin anorganik bileşimleri temel alınarak incelendiğinde, aglomerasyon eğiliminin Na_2O ve K_2O oranı yükseldikçe arttığı, buna karşın Al_2O_3 oranındaki artışa bağlı olarak düştüğü gözlenmiştir. Ancak buna rağmen incelenen bu linyitler için, aglomerasyon eğilimi ile küllerin anorganik yapıları arasında düzgün değişen bir bağımlılıktan söz etmek mümkün değildir.



INVESTIGATION OF COMBUSTION CHARACTERISTICS AND AGGLOMERATION OF SOME TURKISH LIGNITES IN A FLUIDIZED BED COMBUSTOR

SUMMARY

Fluidized bed combustion is an emerging technology which is increasingly being used for combustion of low-grade fossil fuels effectively and in an environmentally friendly way. But the fluidized bed combustion behavior of coals varies widely, combustion of each individual coal must be characterized by burning it in a fluidized bed combustor. On the other hands, to maintain a stable fluidization and effective combustion in fluidized bed combustors, agglomeration phenomenon must be avoided. Agglomeration concept is commonly used to describe densification process in which coal, ash and bed material particles, for many reasons, stick each other and produce a conglomerated mass. Agglomeration occurred during fluidized bed combustion of coals causes sever problems including defluidization, impending heat transfer, fouling surfaces and clinkering in combustors. In the most serious cases, it can deteriorate fluidization and lead to catastrophic shut-down of combustor after complete inhibition of combustion.

Agglomeration of coal in a fluidized bed combustor is a complex phenomenon which is affected by numerous factors including, basically the physical and chemical properties of bed inventory and operational conditions. The sintering mechanism of coal in pulverized coal combustors has been investigated with emphases on the transformation of inorganic matters in the coal. Researches covering the agglomeration of lignites in fluidized bed combustors, however, are limited. Experiences with fluidized bed combustion also indicate that agglomeration behavior of coals or coal ashes varies widely depending on their inherent characteristics.

In the present study, the fluidized bed combustion characteristics of five Turkish lignites have been investigated. Lignite samples were taken from the major lignite deposits in various districts of Turkey, namely Beypazarı, Çan, Kısırakdere, Tunçbilek and Yatağan. They have 8.62-23.7% moisture, 10.54-37.90% ash, 30.55-47.29% volatile matter and 2630-5355 kcal/kg gross calorific values. Lignite samples were crushed, sieved to obtained 1.0-1.9, 1.9-2.7 and 2.7-3.3 mm fractions.

A stainless steel atmospheric fluidized bed of 100 mm i.d. was used to carry out combustion experiments and to measure the agglomeration temperature of lignites. The fluidized bed combustor is designed for self- sustained combustion of crushed coal of 1-10 mm. The bed material was 0.6-1.0 mm quartz sand. Temperatures at vertical direction in the bed were measured via thermocouples located at 50 mm, 150 mm and 300 mm above distributor plate and recorded by a computer. Fluidized bed was equipped with computer control system which controls the flow rate of fluidizing

air and mass flow rate of coal. Emissions various gases in the combustion gases were continuously measured and recorded via an on-line gas analysis system attached to fluidized bed during experiments.

The composition of lignite ashes were determined by standard ASTM techniques. Ash fusion temperature measurements were carried out using an ash fusion furnace with a digital read out, sensitivity of 5°C and a maximum temperature of 1571°C, according to the ASTM procedure D 1857-68 under oxidizing atmosphere. Agglomerates removed from the fluidized bed were examined by SEM and X-ray techniques.

Experimental results indicated that, the fluidized combustion behavior of lignites differs from each other and affected by their characteristics and operational conditions. Due to the high volatile matter contents of lignites, combustion in the freeboard is comparable with that of active bed. Particularly, during the combustion of Beypazarı lignite having the highest elutriation rate, temperature in freeboard was nearly at the same levels or higher than that of the active bed indicating an intensive combustion in that region. The CO emissions of this lignite was also higher than others which indicated that secondary air supply to freeboard is needed to enhance the combustion. The SO₂ emission recorded in fluidized bed combustion of lignites ranged from 2 000 to 20 000 mg/m³. Kırakdere lignite and Beypazarı lignite has the lowest and the highest SO₂ emission, respectively.

The vertical temperature distribution in beds burning lignites with low ash content such as Çan, Kırakdere and Yatağan lignites was nearly uniform indicating an effective mixing in the bed, while a deterioration of heat distribution was observed for lignites with low ash content.

In fluidized bed combustors burning these lignites, a stable combustion process can be maintained in the temperatures range of 700-900°C. At temperatures higher than 900°C agglomeration likely occurs, depending on inherent characteristics of lignites and operational conditions. Segregation, which is known as an indication of deterioration of fluidization, occurs prior to the agglomeration process of lignites under some conditions. The segregation tendency was depressed by high operational velocities but promoted by high ash content of lignites.

Agglomeration of lignites studied occurred at temperature levels of 870-1120°C. The agglomeration temperature of the lignites and the differences between agglomeration temperature (T_{Ag}) and characteristic ash temperatures, namely initial deformation (T_D), softening (T_S), hemispherical (T_H) and fusion (T_F) temperatures are given in Table 1, where, $\Delta T_1 = T_D - T_{Ag}$, $\Delta T_2 = T_S - T_{Ag}$, $\Delta T_3 = T_H - T_{Ag}$ and $\Delta T_4 = T_F - T_{Ag}$.

As seen from the table, agglomeration temperatures of all lignites measured in the fluidized bed combustor are lower than their characteristic temperatures. ΔT_1 and ΔT_4 are positive and change in the range of 125-209°C and 306-390°C, respectively.

Since the temperature of a burning coal particles is 100 - 150 °C higher than that of the surrounding bed which is measured in practice, these results suggest that agglomeration in the fluidized bed combustors may occur when temperature of the burning particles exceeds the initial deformation temperature. Difference between fusion and agglomeration temperature (ΔT_4), however are considerably higher than

ΔT_1 values. In other words, these lignites can agglomerate at temperature much lower than their fusion temperature. In spite of this fact, lignites with higher ash fusion temperatures appeared to have higher agglomeration temperatures. However, the relationship between agglomeration temperature and ash fusion characteristics can not be defined with a systematic and regular correlation.

Table 1. Agglomeration temperature of lignites and differences between agglomeration and characteristic ash fusion temperatures.

Lignite	T_{Ag}	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_4
Beypazarı	990	125	166	230	306
Çan	1050	175	272	298	346
Kısrakdere	1060	168	238	308	340
Tunçbilek	1020	204	248	315	377
Yatağan	1040	209	235	252	390

Although the agglomeration tendency appears to decrease with increasing Na_2O and K_2O and decreasing Al_2O_3 content, no regular relationship can be suggested between agglomeration tendency of lignites and the inorganic composition of their ashes.

BÖLÜM 1

GİRİŞ ve AMAÇ

Ülkemizde, gelişmeye paralel olarak enerji tüketimi de günden güne artmaktadır. 1973 ve 1979 yıllarında yaşanan I. ve II. Enerji krizleri sonucunda petrol fiyatları hızlı bir artış göstermiştir. Bu nedenle dünyada enerji gereksinimini karşılamak amacıyla kömüre bir dönüş olmuştur. Bu gelişmeler ülkemize de yansımış ve bunun sonucunda linyit tüketiminde önemli artışlar olmuştur. Ülkemizde 1970 yılında 5 772 000 ton olan linyit tüketimi 1993 yılında 47 340 000 ton 'a çıkmıştır. 2000 yılında linyit üretimimizin yaklaşık 75 000 000 ton olacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizde, kullanılan fosil ve diğer yakıt miktarlarının yıllara göre değişimi sıra ile Tablo 1.1 ve Tablo 1.2 'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Türkiye 'de fosil yakıtların tüketiminin yıllara göre değişimi (Altaş, 1994).

Yıllar	Bitümlü Kömür (10 ³ ton)	Linyit (10 ³ ton)	Asfaltit (10 ³ ton)	Petrol (10 ³ ton)	Doğal Gaz (10 ⁶ m ³)	Hayvansal ve Zirai Atıklar (10 ³ ton)
1970	4727	5772	36	7579	-	9523
1975	4959	8973	456	13503	-	10495
1980	4630	15243	558	15309	23	12839
1985	6189	34767	523	17270	68	11039
1990	8191	45891	287	2270	3418	11080
1993	8544	47340	102	27074	5088	10842

Tablo 1.1. 'de görüldüğü gibi ülkemizde 1970-1993 yılları arasında linyit tüketimi yaklaşık 8 kat, bitümlü kömür tüketimi 2 kat ve petrol tüketiminin ise yaklaşık 4 kat kadar artmış bulunmaktadır. Linyit kullanımına olan yoğun talep artışının en büyük nedeni Türkiye 'nin sahip olduğu enerji kaynaklarında ve bu kaynakların niteliğinde yatmaktadır. Türkiye 'nin sahip olduğu enerji kaynakları incelendiğinde, bunlar içinde kömür, hidrolik potansiyel ve az miktarlarda da olsa petrolün öne çıktığı

görülmektedir. Hidrolik potansiyel, tümü ile kullanılabilse dahi, enerji gereksinimini karşılamaktan uzak bulunmaktadır. Halen enerji üretimindeki payı bir hayli yüksek olan petrolün %90 'ı ithal edilmektedir. Dolayısıyla artan enerji gereksinimini karşılamak için en önemli enerji kaynağımız olan kömürlerin daha büyük ölçeklerde devreye alınması gerekmektedir. Bu kaynaklar, yaklaşık olarak, 1.5 milyar ton taş kömürü, 8 milyar ton linyit, 1.5 milyar ton bitümlü şist ve 100 milyon ton civarındaki asfaltitlerden oluşmaktadır (Altaş, 1994). Taş kömürü, sanayide bir hammadde girdisi olarak kullanıldığından, daha çok linyitler üzerinde durmak gerekmektedir. Linyitlerimizin ülke ortalaması özellikleri: nem, kül kükürt ve alt ısı değer olarak sırası ile %26.07, %27.43, %1.85 ve 2118 kcal/kg olarak verilmektedir (Arıoğlu ve Yüksel, 1984). Bu değerler, teknolojik olarak son derece düşük bir kömür kalitesine işaret etmektedir. Bu kömürlerin uygun olmayan yakma sistemlerinde yanlış bir şekilde değerlendirilmeleri, özellikle kış aylarında, ülkemizde çok yoğun bir hava kirliliğinin yaşanmasına neden olmaktadır.

Tablo 1.2. Türkiye 'de fosil dışı yakıtların tüketiminin yıllara göre değişimi (Altaş, 1994).

Yıllar	Hidrolik (GWh)	Jeotermal		Güneş (10 ³ TEP)	Odun (10 ⁶ m ³)	Elektrik	
		Elektrik (GWh)	Termal (10 ³ TEP)			İthal (GWh)	İhrac (GWh)
1970	3033	-	-	-	12816	-	-
1975	5904	-	-	-	14562	96	-
1980	11348	-	-	-	15765	1341	-
1985	12045	6	-	-	17368	2142	-
1990	23148	80	16	21	17870	176	907
1993	33950	78	30	38	18171	213	589

Linyit kaynaklı hava kirliliği bir çok kentimizde kış aylarında ölümcül boyutlara ulaşmaktadır. Bu kirliliğin temel kalemleri: SO₂, NO_x, CO, yanmamış hidrokarbonlar ve tanecik yayınımları olarak bilinmektedir. Bu kirletici parametrelerden en önemlisi ve bir nevi kirlilik kıstası olarak da kullanılan kükürt oksitleridir (SO_x). Yanma sırasında en fazla oluşan kükürt bileşiği (> %90) kükürt dioksittir (SO₂).

Kükürt oksitler, azot oksitler ve diğer asitler asit yağmurunu oluşturan temel bileşenlerdir. Genel olarak asit yağmurları, 1970 'li yıllarda ormanlarda ve su hayatında, eski eserlerde, tarım topraklarında yol açtığı tahribat ve topraktaki ağır

metalleri çözerek içme suyunda neden olduğu kirlilik sebebiyle dikkatleri üzerine çekmeye başlamıştır. Hava kirliliği yalnızca doğayı etkilemekle kalmamış, insan sağlığını da tehdit eder hale gelmiştir. Hava kirliliği insanların üst solunum yollarında keskin, boğucu ve tahriş edici bir etki göstermektedir. Değişik derişimlerde SO₂ 'nin insan sağlığına olan etkileri Tablo 1.3 'de verilmiştir (Tırıs ve diğ., 1993).

Tablo 1.3. Kükürtdioksidin insan sağlığı üzerinde yaptığı olumsuz etkiler.

SO ₂ (ppm)	Süre	Etkiler
0.03	Yıllık Ortalama	Hava kalitesi standardı
0.037-0.092	Yıllık Ortalama	185 µg/m ³ duman derişimi ile birlikte, solunum yolları ve akciğer hastalıklarında artışlar.
0.07	Yıllık Ortalama	Yüksek toz derişimi ile birlikte, çocuklarda solunum yolları hastalıklarında ilerleme.
0.11-0.19	24 Saat	Düşük toz derişimlerinde, yaşlı kimselerde solunum yolları hastalıklarında artış.
0.14	24 Saat	ABD 1971 Hava Kalitesi Standardı.
0.19	24 Saat	Büyüklerde kronik solunum yolları hastalıklarında ilerleme.
0.19	24 Saat	Düşük toz derişimlerinde, ölüm oranlarında artış görülebilir.
0.25	24 Saat	750 µg/m ³ duman derişimi ile birlikte, günlük ölüm oranlarında artış görülebilir (İngiltere), hastalanmalarda ani artış.
0.5	10 Dakika	Astım hastalarında hareket halinde solunum direncinin artması.
5	24 Saat	Sağlıklı kimselerde solunum direncinin artması.

Türkiye 'de enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için ulusal bir kaynak olan linyitlerin daha büyük ölçeklerde devreye alınması gerekmektedir. Ancak, ülkemiz linyitlerinin kullanılabilmesi için yukarıda açıklanan kirlетici unsurların yayınım derişimlerinin insan ve çevre yaşamı için kabul edilebilir seviyelere çekilmesi gerekmektedir. Bunu, kabaca iki şekilde gerçekleştirmek mümkündür: a) Kömürü daha kaliteli bir hale getirmek, b) Yanma sırasında kirliliği kontrol etmek. Ancak bu seçeneklerin geçerli olabilmeleri için ülke koşullarında ekonomik olmaları gerekmektedir.

Günümüzde akışkan yataklı yakma sistemleri, linyitleri ve benzeri düşük kaliteli yakıtları daha etkin bir şekilde değerlendirmek ve bunlardan kaynaklanan kirliliği azaltmak açısından önemli bir teknolojik seçenek olarak görölmektedir. Bu sistemlerde hem yüksek yanma verimlerine ulaşmakta, hem de kükürt oksit ve azot oksit gibi kirlетicilerin yayınımlarını kontrol etme olanağı bulunmaktadır. Kömürlerin

yakılması açısından bu sistemlerde karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi aglomerasyon olayıdır. Genel olarak aglomerasyonun neden olduğu sorunları şu şekilde özetlemek mümkündür: i)Yanma veriminin düşmesi, ii)Isı iletim yüzeylerinde hasar meydana gelmesi, iii)Isı iletim katsayısının düşmesi, iv)Operasyon güçlükleri, v)Malzemenin kullanım ömrünün kısılması.

Bu çalışmada, ülkemizin en önemli fosil enerji kaynaklarını oluşturan linyitlerin akışkan yataklı yakma sistemlerinde yakılması incelenmiştir. Bu çerçevede göz önüne alınan linyitlerin yanma karakteristiklerinin ve yanabilirlik sınırlarının belirlenmesi, yanma ve aglomerasyon olayının gerçekleşmesi sırasında ortaya çıkan SO_2 , NO_x , ve CO gibi kirletici gazların yayınımlarındaki değişimin gözlenmesi ve külün anorganik yapısı, sinterleşme sıcaklığı ve operasyon koşullarının aglomerasyona olan etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.



BÖLÜM 2

AKIŞKAN YATAKLI YAKMA SİSTEMLERİ

Akışkan yataklı yakıcıların, tasarımlarının basitliği, katı, sıvı ve gaz (veya bunların kombinasyonları ile değişik özelliklere sahip) yakıtları yüksek verimle yakabilmesi ve düşük çalışma sıcaklığından ötürü NO_x oluşumunun çok düşük düzeyde olması gibi pek çok avantajları bulunmaktadır. Akışkan yatakta yanmanın en büyük avantajı kireç taşı veya dolomit gibi doğada bolca bulunan ve ucuz olan maddelerin ilavesi ile oluşan SO_2 'in sistem içinde ve yanma sırasında tutulabilmesidir (Berman, 1979; Williams ve diğ., 1994; Topper ve diğ., 1994). Akışkan yataklar kesikli işletme koşulları için de uygun olan sistemlerdir. Örneğin tüm bir gece veya hafta sonucu boyunca çalışmamış bir akışkan yatak çok kısa bir süre içerisinde işletmeye alınabilmektedir. Yeni bir teknoloji olmasına ve ilk yatırım maliyetlerinin görece olarak yüksek olmasına karşın dünyadaki akışkan yataklı yakma sistemlerinin sayısı hızlı bir şekilde artmaktadır (Howard, 1978).

2.1.Akışkanlaşma

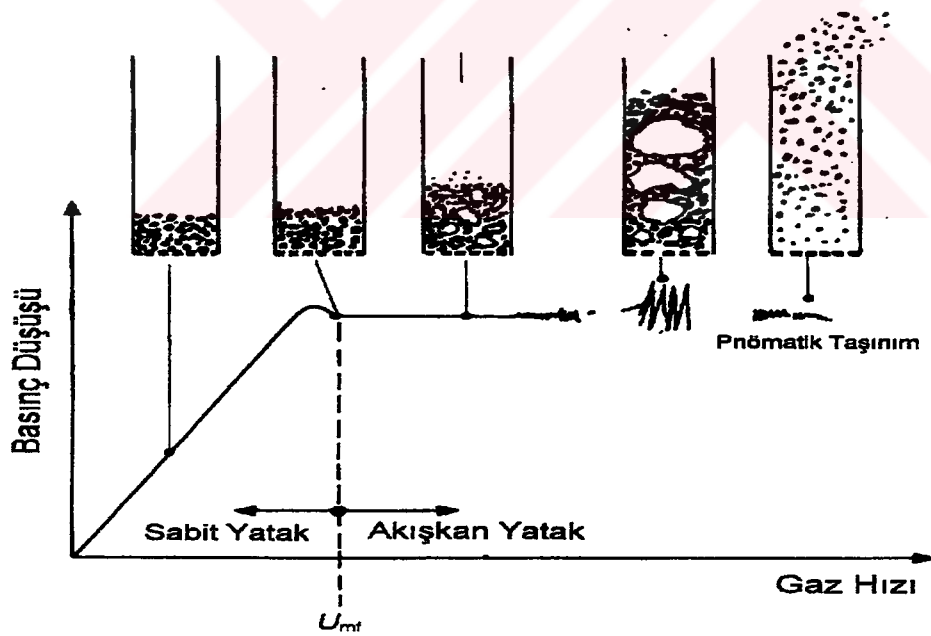
Akışkanlaşma, katı taneciklere akışkan davranımı özelliklerinin kazandırılmasıdır. Diğer bir deyişle, geçirgen bir plaka üzerinde duran katı taneciklerine içinden geçirilen bir gaz veya sıvı yardımıyla bir akışkan niteliği kazandırılmasıdır.

Şekil 2.1 'deki gibi, küçük taneciklerden oluşmuş bir yatağın içinden bir akışkan geçirilsin. Düşük akış hızlarında, akışkan katı taneciklerin arasındaki gözeneklerden akar ve parçacıklar hareketsiz kalır. Bu durumdaki yatak sabit yatak olarak adlandırılmaktadır.

Akışkan hızının artması ile birlikte, parçacıklar birbirinden bağımsız olarak kısıtlı bir alanda hareket etmeye ve titreşmeye başlarlar. Bu genleşmiş yatak durumudur.

Akışkan hızının daha da artırılması ile öyle bir noktaya gelinir ki, artık parçacıklar yukarıya doğru hareket eden akışkan içinde asılı kalırlar. Bu noktada akışkanla parçacık arasındaki sürtünme kuvveti parçacığın ağırlığı ile dengededir. Bu noktadaki akışkanlaşmaya minimum akışkanlaşma ismi verilmektedir. Bir diğer deyişle minimum akışkanlaşma hızının üzerindeki hızlarda, basınç düşüşü ile yatak ağırlığı dengededir. Akışkanlaştırıcı olarak gazların kullanıldığı durumlarda akışkan hızının artması ile birlikte gaz yatak içinden kabarcıklar oluşturarak geçmeye başlar ve bu tür yataklar kabarcık türü yataklar olarak adlandırılmaktadır (Kunii ve Levenspiel, 1977).

Gaz akışkan yataklarda, kabarcıklar yatak içinde hareket ederken beraberlerinde bir miktar katı taneciğini de sürüklemektedirler. Yatak yüzeyine erişen kabarcıklar patlayarak taşıdıkları tanecikleri serbest bölgeye fırlatırlar. Bunlar içinde, taşınma hızları bölgedeki gaz hızından büyük olanlar yatağa geri dönerken, daha ufak olanları gaz tarafından sürüklenerek akışkan yatağı terk ederler (Pemberton ve Davidson, 1986).



Şekil 2.1. Akışkanlaşmanın aşamaları ve akışkan yatak.

Yatak içinde kabarcıklar yukarıya doğru hareket ederken katı taneciklerin de değişik yönlerde hareket etmesini sağlamaktadırlar. Böylece yüksek ısı ve kütle iletim

katsayıları elde edilmektedir. Bu nedenle, iyi karışan bir akışkan yatakta homojen bir sıcaklık ve kütle dağılımı elde edilebilmektedir (Kunii ve Levenspiel, 1977).

Belirli bir hızdan sonra akışkanlaşan parçacıklar artık yatağa dönmezler ve akışkanla birlikte sürüklenerek yatağı terk ederler. Bu hıza terminal hız adı verilmektedir (Howard, 1978).

2.2.Akışkan Yatakta Yanma

Akışkan yatakta yanma; kömür taneciklerinin hava ile akışkanlaştırılmış ve tutuşma sıcaklığının üstündeki bir sıcaklığa kadar ısıtılmış olan, inert maddelerden oluşmuş bir ortamda yanması şeklinde gerçekleşmektedir. Yanan kömür taneciklerinin tüm yatak malzemesi içindeki derişimi %2 ila %5 civarında kalmaktadır (Highley, 1980). Başka bir ifade ile tipik bir yanmada akışkan yatakta bulunan her kömür taneciğine karşılık 200 civarında inert tanecik bulunmaktadır (Avedesian ve Davidson, 1973). Yüksek oranlardaki inert maddenin karışması ile meydana gelen türbülans, kömür taneciklerinin yanması sonucu açığa çıkan ısıнын hızlı bir şekilde yatak hacmine dağılmasını ve tekdüze bir sıcaklık dağılımının oluşmasını sağlamaktadır. Yatakta kalma süresine bağlı olarak kömür taneciklerinin yanması kısa veya uzun süreçlerde gerçekleşebilmektedir. Küçük taneciklerin yatakta kalma süreleri ve dolayısıyla yanma süreçleri daha kısa olmaktadır. Boyut küçüldükçe yatakta kalma süresi artmaktadır (Avedesian ve Davidson, 1973). Akışkan yataklarda, yanan kömür taneciklerinin sıcaklığı, ortam sıcaklığından yaklaşık olarak 150-200°C daha yüksek olmaktadır (Stubington, 1985). Akışkan yataklı yakma sistemlerinde yanma sürecinin alt sınırını kömürün tutuşma sıcaklığı ve kararlı yanmanın sürdürülebilmesi koşulları, üst sınırını ise aglomerasyon olayı belirlemektedir. Ancak yatak operasyon sıcaklığı genellikle 800-1000°C arasında tutulmaktadır. Yanma sıcaklığının bu aralıkta seçilmesi aşağıda sıralanan gerekçelere dayanmaktadır.

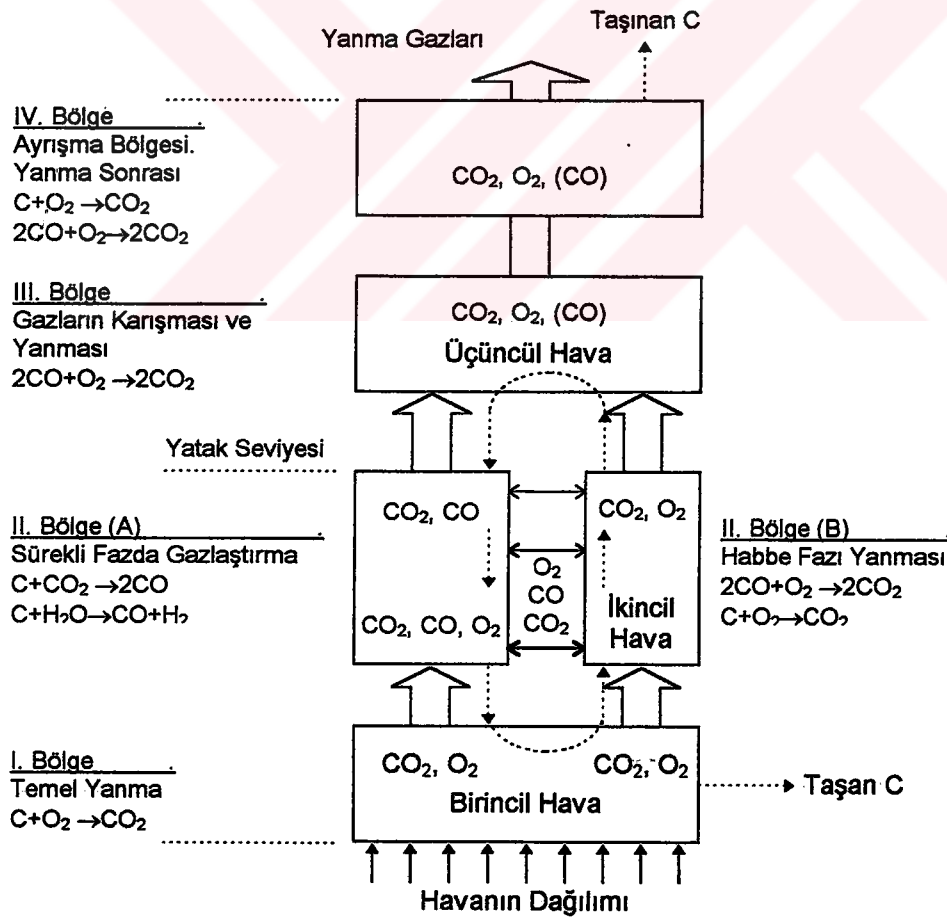
a) Yanma sonucu ortaya çıkan SO_2 gazının adsorplanabilmesi amacı ile sisteme beslenen kireçtaşı ve dolomit gibi sorbentler 900-950°C arasında optimum verimle kullanılabilir.

b) 1000°C 'nin üzerinde havanın azotu oksijenle birleşerek azot oksitleri oluşturmaktadır.

c) Yanan kömür taneciğinin sıcaklığı yatak sıcaklığından 150-200°C daha yüksektir. Operasyon sıcaklığı 850°C 'nin üzerine çıktığı zaman aglomerasyon tehlikesi ortaya çıkmaktadır.

d) 1000°C 'nin üzerinde kömür bünyesindeki alkali klorür ve sülfatların buharlaşma hızları artmaktadır. Bu maddeler, yatak cidarında ve ısı transfer yüzeyleri üzerinde birikerek korozyona neden olmaktadır (Berman, 1979; Chakraborty ve Howard, 1978; McKenzie, 1978).

Akışkan yataklarda kömürün yanma mekanizması, gerek akışkan yatağın bir hayli karmaşık olan dinamik yapısı, gerekse uçucu madde çıkışı ve yanması ile yarıkok yanması gibi çeşitli aşamaları içeren yanma süreci öncesinde ve sırasında süregelen karmaşık pek çok olayın iç etkileşimi nedeni ile tam olarak aydınlatılamamıştır (Chakraborty ve Howard, 1981). Yanma sürecinin gerçekleştiği akışkan yatağı bir reaktör olarak göz önüne alırsak Şekil 2.2 'de görüldüğü gibi başlıca iki bölgede incelemek mümkün olur (Waters, 1975).



Şekil 2.2. Akışkan yataklı yakıcılarda işlevsel bölgeler.

i) Aktif yatak: Bu bölge, inert katı tanecikleri içeren ve yakıtın hava ile temasa gelerek yandığı yatağın alt bölgesidir.

ii) Serbest bölge: Aktif yatak bölgesinin üstünde kalan ve onun doğal uzantısı olan bölgedir. Bu bölgede, uçucu maddeler ve yataktan taşınan küçük yakıt tanecikleri hava ile karışarak yanmayı sürdürürler. Bu bölge, aynı zamanda, bir taşınım-ayırışma bölgesi işlevini de görmektedir, buraya taşınan katı taneciklerden taşınma hızları bölgedeki gaz hızından küçük olanlar aktif yatak bölgesine geri döner.

Yatağa beslenen kömür tanecikleri, sürekli evrede (fazda) ve kendisini çevreleyen inert katı tanecikleri tarafından birkaç saniyelik bir süre içinde yatak sıcaklığına kadar ısıtılmaktadır. Isınma sürecinde kömürü terk eden uçucu maddeler sürekli evre içinden geçen hava ile karışarak yanmaktadırlar. Etkin karışmanın meydana geldiği koşullarda uçucu maddeler habbe evresi içine difüze olarak orada da yanmayı sürdürebilmektedirler (Highley, 1980).

Linyitlerin ısıl değerinin yaklaşık %40-50 'sini taşıyan uçucu maddelerin yanması akışkan yataklı yakma sistemlerinde, yatak içi ısı iletimini etkilediği gibi, ısı iletim yüzeylerinin konumunu belirlemeye yönelik tasarım çalışmalarında da gözden kaçırılmaması gereken bir etken olmaktadır. Uçucu maddeler, linyitlerin beslenme şekline bağlı olarak aktif yatak bölgesinde, yatak yüzeyinde ve serbest bölgede de yanabilmektedir. Ancak, linyit tanecikleri uçucu madde yanmasının büyük bölümünü yatak yüzeyine yakın bölgelerde yoğunlaşarak tamamladıktan sonra aktif yatak içerisinde yarı-kok yanmasını sürdürmektedirler (Pillai, 1985).

Uçucu madde çıkışı ve yanması saniyelerle ölçülebilecek kısa bir zaman periyodunda gerçekleşirken, uçucu madde ayrılması ile geride kalan ve orijinal taneciğin yaklaşık %50 'sini oluşturan katı kısmın (yarı-kok) yanması dakikalarca sürebilmektedir. Sıcak akışkan yatak içerisine beslenen bir kömür taneciğinin yanması şu aşamalardan geçerek tamamlanmaktadır:

1. O₂ 'nin habbe evresinden sürekli evreye geçişi,
2. O₂ 'nin sürekli evreden tanecik yüzeyine difüzyonu,
3. O₂ ve CO₂ 'in tanecik yüzeyinde C ile reaksiyona girmesi,

4. Oluşan yanma ürünlerinin tanecik yüzeyinden uzaklaşmaları (Avedesian ve Davidson, 1973).

Tutuşma sıcaklığına kadar ısıtılmış bir akışkan yatağa atılan herhangi bir kömür taneciğinin yanma sürecinde geçirdiği aşamalar şu şekilde özetlenebilir (Pillai, 1981):

1. Tanecik yatak sıcaklığının altında kalmak üzere belirli bir sıcaklığa kadar ısınır, taneciğin rengi yatak ortamına göre daha koyudur. Yaklaşık 3 saniye kadar devam eden bu sürede tanecik, kömür tipine bağlı olarak bir miktar şişebilir.
2. Uçucu maddelerin yanmaya başlaması ile tanecik çevresinde alev halkaları oluşu. Ancak taneciğin çevreye göre daha soluk kalması, henüz ortam sıcaklığına ulaşmadığını göstermektedir. Taneciğin düşey hareketleri, uçucu maddelerini yitirmiş bir taneciğe kıyasla, çok daha yavaştır ve yanmasını yatak yüzeyinde sürdürmektedir.
3. Uçucu madde çıkışı biten yarı-kok haldeki taneciğin düşey yöndeki hareketleri hızlanır ve tanecik yatağa gömülmeye başlar.
4. Yarı-kok taneciğin sıcaklığı hızla artarak ortam sıcaklığını aşar ve rengi artık kendisini çevreleyen taneciklerin renginden daha parlaktır. Bu parlaklık oksijen derişimi artıkça netleşir. Bu aşamada, tanecik yüzeyinde ve tüm hacmi boyunca çeşitli kimyasal reaksiyonlar görülmektedir. Kömürün özelliklerine göre, tanecik çeşitli şekillerde yanmasını sürdürür; i-Yanmaya paralel olarak taneciğin çapı da devamlı küçülür (yarı-koklar, koklar, antrasitler), ii-Yanma devam eder, ancak taneciğin büyüklüğünde önemli bir değişme görülmez. Yanma bittiğinde geriye hemen hemen aynı büyüklükte bir kül taneciği kalır. Kül taneciği çeşitli nedenlerle parçalanabilir (bitümlü kömürler). iii-Taneciğin boyutu yanma boyunca sabit kalmasına karşın, zaman zaman daha küçük taneciklere bölünür. Oluşan yeni tanecikler aynı davranımı göstererek yanmayı sürdürürler. Bu süreç karbon tükeninceye kadar devam eder.

2.3.Akışkan Yatakta Yanmayı Etkileyen Faktörler

Akışkan yatakta yanmayı etkileyen faktörler arasında, kömür/inert madde oranı, akışkanlaştırıcı hava hızı, kömür ve inert maddenin boyutu, yakıtın ve külün özellikleri, yatak sıcaklığı, kömürün beslenme şekli, akışkan yatağın geometrisi ve

dağıtıcı elekler olarak sayılabilir (Howard, 1983). Sıcak akışkan yatağa giren bir kömür taneciğinin gerek boyutlarında ve gerekse yoğunluğunda önemli değişimler meydana gelmektedir. Bu değişme boyutlarda ve yoğunlukta azalma şeklinde gerçekleşebilmektedir (Davidson ve diğ., 1985). Söz konusu değişiklikler kömür türüyle de yakından ilgilidir. Yapılan araştırmalar 100 mm 'den küçük çapa sahip kömür taneciklerinin oksijen difüzyonunu büyük oranda kolaylaştırdığını ortaya koymuştur. Bu nedenle yanmanın çapta küçülme ve yoğunlukta azalmaya sebep olacak şekilde ilerlediği belirtilmektedir. 1 mm 'den büyük çaplı taneciklerde oksijen difüzyonu görece olarak daha sınırlı kalmakta, dolayısıyla yanma sırasında tanecik boyutu önemli ölçüde değişmemektedir. Kömür türüne bağlı olarak tanecikler, çap ve yoğunluklarında önemli bir değişiklik olmaksızın da yanmayı sürdürebilirler (Avedesian ve Davidson, 1973).

Yanan kömür taneciklerinin sıcaklığı taneciklerin yüzeyinin karbonmonoksit oksidasyon bölgesine yakınlığı, oksijenin kütle transfer hızı ile yoğun fazdaki derişiminden etkilenmektedir. Tanecikler arasındaki konveksiyon ve radyasyonla gerçekleşen ısı transferi kömür taneciklerinin sıcaklıklarını etkileyen diğer bir etkidir (Chakrabarty ve diğ., 1978; Chakrabarty ve diğ., 1981).

Oksijen derişiminin artışıyla birlikte kömür tanecik sıcaklığı artmaktadır. Bu artış kömür tanecik boyutunun azalmasıyla daha da yükselmektedir. Kömür taneciği ve inert madde boyutu, akışkanlaşma hızı ve yatak yüksekliği gibi değişkenlerle birlikte, kömür taneciği sıcaklığını önemli bir şekilde etkilemektedir. İnert tanecik boyutunun artmasıyla kömür tanecik sıcaklığı da artmaktadır. İnert tanecik boyutu arttıkça tanecikler ile ısı iletim yüzeyleri arasındaki temas yüzeyi azalmaktadır. Bu durum ısı iletim katsayısının düşmesine neden olmakta, dolayısıyla ısı iletim hızı düşmekte ve kömür taneciğinin sıcaklığı artmaktadır. Sığ yataklarda habbelerin küçük ve sayıca çok olmalarından dolayı, yanan taneciklerin hareket kabiliyetleri oldukça yüksektir. Bu tanecikler kimi zaman yoğun, kimi zaman da habbe fazında olmak üzere sık sık yer değiştirmektedirler. Dolayısıyla oksijenin kütle transfer hızı zorlanmış konveksiyon nedeni ile artar. Bu nedenlerden dolayı, kömür taneciğinin sıcaklığı sığ yataklarda derin yataklara kıyasla daha yüksektir (Chakrabarty ve diğ., 1978; Chakrabarty ve diğ., 1981).

2.4.Akışkan Yatakta Yanmanın Üstünlükleri

Akışkan yataklı yakma sistemleri geleneksel yakma sistemlerine kıyasla bazı üstünlüklere sahiptir. Bu üstünlükleri özetle aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Ruisard ve Hanway, 1972; Cook ve Hodgkinson, 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 v.b. gibi) bağlı değildir.
2. Akışkan yataklarda gaz ve katı teması çok etkin bir şekilde gerçekleşmekte ve yüksek ısı iletim katsayılarına ulaşılmaktadır. Bu durum, ısı iletim yüzeylerinin küçülmesini ve dolayısıyla maliyetlerin düşmesini sağlamaktadır.
3. Akışkan yataklı yakma sistemleri kullanılarak kombine buhar-türbin çevrimi yolu ile güç üretimini, daha küçük boyutlardaki ünitelerde ve daha düşük maliyetlerde gerçekleştirmek mümkündür.
4. 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 sağlamakta, hem de kömürün beslenmesini kolaylaştırmaktadır. Böylece bu sistemde düşük kaliteli yakıtlar değerlendirilebilmektedir.
5. Pulverize sistemlere kıyasla, daha iri kömür tanecikleri kullanıldığından, yakma öncesi hazırlama maliyetleri daha düşüktür.
6. Kömür yakan sistemlerde kömürün yapısında bulunan alkali tuzları buharlaşarak ısı iletim yüzeylerinde birikmekte ve korozyona neden olmaktadır. Akışkan yataklarda operasyon sıcaklıkları, göreceli olarak daha düşük olduğundan alkali tuzlardan kaynaklanan korozyon daha az olmaktadır.
7. 1000°C 'nin üstündeki sıcaklıklarda havadaki azotun azot oksitlere dönüşümü artar. Akışkan yataklarda operasyon sıcaklığı 1000°C 'nin altındadır. Bu nedenle bu sistemlerde azot oksitleri emisyonu hemen hemen yalnızca kömürün yapısındaki azottan da kaynaklanmaktadır.
8. Yanma sıcaklığı düşük olmasına karşın, hava ve yakıt şiddetli ve etkin bir şekilde karıştığından, %90-99 'a varan yanma verimleri elde edilebilmekte ve aktif yatak hacminde tekdüze bir sıcaklık dağılımı sağlanabilmektedir.

9. Akışkan yataklarda, yanma sırasında ortaya çıkan kükürtdioksit kireçtaşı veya dolomit kullanılarak, yanma sırasında tutulabilmektedir. Böylece ek bir kükürtdioksit giderme ünitesinin kurulmasına gerek kalmamaktadır.

2.5.Akışkan Yataklarda Ayırışma

Değişik boyut ve/veya yoğunluğa sahip iki veya daha fazla tanecik grubu içeren akışkan yataklarda iyi bir akışkanlaşmanın gerçekleşebilmesi için bütün taneciklerin akışkanlaştırılması gerekmektedir. Ancak böyle bir sistemde herhangi bir bölgedeki tanecik hareketi, ortalama tanecik dağılımından farklı olabilir. Yani katı tanecik dağılımı açısından tekdüzelik bozulabilir. Bu durumda, sistemde ayrışmanın başlaması eğilimi ortaya çıkar. Ayrışmanın başlaması ve ilerlemesine paralel olarak akışkanlaşmada gittikçe artan bir düzensizlik görülür. Ayrışmanın son aşamasında yatağın bir kısmı veya tümü hareketsiz hale gelmektedir. Bu durum geri akışkanlaşma olarak bilinmektedir. Çoğu akışkanlaşma operasyonlarında ayrışma istenmemektedir. Akışkan yataklı yakıcılar, iyi bir karışmanın istendiği, yani ayrışmanın istenmediği uygulamalara iyi bir örnektir. Çünkü bu sistemlerde, ayrışma aglomerasyonla sonuçlanabilmektedir. Aglomerasyon, kömür ve yatak malzemesi taneciklerinin birbirlerine yapışıp katı bir kütle haline gelmesi olayıdır. Aglomerasyonun başlaması ile akışkan yatakta yanma son bulur.

2.5.1.Yüzüşen ve Batışan Zengin Sistemler

Genel olarak akışkan yataklarda, geniş bir boyut dağılımı ve değişik yoğunluklara sahip ikiden fazla tanecik grubu ile çalışılmaktadır. Ancak elde bulunan verilerin çoğu iki farklı tanecik içeren (ikili) sistemlerin incelenmesi ile elde edilmiştir. Bunun nedeni, ikili sistemlerin daha basit olmaları ve sağladıkları deneysel kolaylıklardır. Bununla birlikte bazı araştırmacılar bu çalışmalardan elde edilen sonuçları daha karmaşık sistemlere uygulamayı denemişlerdir (Chen ve Keairns, 1975).

İkili bir sistem akışkanlaştırıldığında, boyut ve yoğunluk farkından dolayı yatak içinde farklı bölgeler oluşur. Bu bölgelerde taneciklerin derişimleri, boyut ve yoğunluklarına bağlı olarak değişmektedir. Genellikle büyük ve yoğun tanecikler alt bölgelerde küçük ve hafif tanecikler ise üst bölgelerde birirmektedir. Ancak pratikte, küçük taneciklerin

daha yoğun veya büyük taneciklerin daha hafif olabilmesi gibi fiziksel olgular, yukarıda belirtilen büyük yoğun, küçük hafif şeklinde basitleştirilen senaryoları daha karmaşık bir hale getirmektedir. Dolayısıyla bu bölgeleri kesin sınırlarla birbirinden ayırmak mümkün değildir. Başka bir deyişle, bu bölgeler için kesin sınırlar saptanamaz, ancak yatağın dikey eksenini boyunca değişen derişimlerden söz edilebilir.

İkili sistemlerde ayrışma ve karışma olaylarını daha iyi açıklamak için katı tanecikler batışan (jetsam) ve yüzüşen tanecikler (flotsam) olmak üzere iki ayrı grupta toplanarak tanımlanmaktadır (Rowe ve Nienow, 1976):

Batışan tanecikler, batarak yatağın alt bölgelerinde birikme eğilimi gösteren taneciklerdir. Yüzüşen tanecikler ise, küçük ve hafif tanecikler olup daha çok yatağın üst bölgelerinde yoğunlaşan taneciklerdir. Yüzüşen veya batışan olma özelliği göreceli bir özelliktir, yani bir kıyaslama olayıdır. Herhangi bir karışımda yüzüşen olan bir tanecik bir başkasında batışan tanecik olarak davranabilir. Chiba ve diğ. (1980) ikili sistemlerde taneciklerin yüzüşen ve batışan karakterini belirlemek için boyut ve yoğunluğu temel alarak bazı kıstaslar önermiştir. Bu kıstaslar Tablo 2.1 'de özetlenmiştir. Buna göre yüzüşen ve batışan tanecikler üç ana gruba ayrılmaktadır ve her grubun da iki adet alt grubu bulunmaktadır. Boyut ve yoğunluğa bağlı olarak bir tanecik yüzüşen veya batışan tanecik davranımı gösterebilmektedir. Böylece çeşitli ayrışma rejimleri meydana gelmektedir.

Tablo 2.1.İki bileşenli sistemlerde taneciklerin davranımı (Chiba ve diğ., 1980).

1.Durum	<u>Boyut oranı : ~1</u>
1a	Yoğunluk oranı, $r_R=1$; daha büyük bileşen batışandır
1b	Yoğunluk oranı, $r_R=1$; daha ağır bileşen batışandır
2.Durum	<u>Büyük bileşen >> küçük bileşen</u>
	Küçüklerin oranı : %100
2a	Büyük bileşen, küçük bileşenden daha yoğunsa; büyük tanecikler batışandır.
2b	Küçük bileşen daha yoğunsa; küçük tanecikler batışandır.
3.Durum	<u>Büyük bileşen >> küçük bileşen</u>
	Büyüklerin oranı : %100
3a	Büyük bileşen küçüklerden daha yoğunsa; küçük tanecikler yataktan taşınır.
3b	Küçük bileşen daha yoğunsa: her ikisi batışandır.

1. ve 2. durumlarda, yoğunlukların eşit olması durumunda büyük tanecikler, yoğunlukların farklı olması durumunda ise daha ağır tanecikler batışan olmaktadır. 3a durumu gerçekte sabit yatak durumunu ifade etmektedir. 3b ile tanınan sistemlerde küçük ve ağır tanecikler ancak büyük ve hafif taneciklerin oluşturduğu boşluklara girebilecek kadar ince ise yüzüşen tanecik davranımı göstermektedirler. Büyük ve hafif taneciklerin akışkanlaşmasıyla birlikte bu küçük ve yoğun tanecikler batışan tanecik davranımı göstermeye başlamaktadır.

2.6.Kömür Yakılan Akışkan Yataklarda Aglomerasyon

Aglomerasyon, akışkan yataklı yakıcılarda kül ve yatak malzemesi taneciklerinin çeşitli nedenlerle birleşip katı bir kütleye dönüşmesi olarak tanımlanmaktadır. Aglomerasyon, akışkan yataklı yakma sistemlerinde kullanılan kömürün özelliklerine bağlı olarak, karşılaşılan en önemli sorunlardan biridir. Yanma sürecinin kararlılığını doğrudan ve olumsuz şekilde etkileyebilmektedir.

Aglomerasyonun gelişmesi konusunda ortaya atılan ilk görüşlere göre, bu olay minimum akışkanlaşma koşullarının bir sonucu olarak ortaya çıkmakta ve gelişmektedir. Minimum akışkanlaşma koşullarında, akışkan yataklarda karışmanın etkinliği, şiddeti ve taneciklerin atalet momenti en düşük düzeylerde kalmaktadır. Bu koşullarda yanmakta olan kömür taneciklerinin sıcaklıklarının kül yumuşama veya ergime sıcaklığına ulaşması durumunda, kömür kül ve diğer katı taneciklerin birbirlerine yapışmalarının kolaylaştığı düşünülmektedir (Saxena ve Rahmet, 1978).

Aglomerasyon konusunda yapılan çalışmalar, bazı operasyon koşullarında, kül ergime sıcaklıklarının altında kalan sıcaklıklarda da aglomerasyonun görülebileceğini ortaya koymuştur. Bunun gibi, minimum akışkanlaşma hızının çok üstündeki hızlarda da aglomerasyonun görüldüğü saptanmıştır (Basu ve Sarka, 1983). Bu bulgular, aglomerasyonu, minimum akışkanlaşma koşulları veya ergime sıcaklığı temel alınarak aglomerasyon konusunda yapılacak irdelenmenin yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır.

Akışkan yatakta, hareket halinde yanan iki kömür taneciği birbirleri ile temas ettikleri zaman, birbirine yapışma eğilimi içine girmektedir. Bu eğilimi yaratan itici güç, taneciklerin yüzey küçültmek ve daha kararlı bir konuma geçmek yönündeki genel

eğilimleridir. Taneciklerin kinetik enerjilerinin yeterince büyük olduğu durumlarda (şiddetli karışma) birbirleri ile temas eden tanecikler arasında oluşan fiziksel bağ kolaylıkla parçalanır ve tanecikler bağımsız hareketlerine devam ederler. Sıcaklığın yeterince yüksek olduğu durumlarda ise oluşan bağ kuvvetleri kinetik enerji güçlerini dengeler veya aşabilir. Bu durumda tanecikler birbirleri ile birleşerek daha büyük kütleler oluştururlar. Bu birleşme ve büyüme süreci devam ederse, tanecikler zamanla ataletini kaybeder ve sonuçta hareketsiz bir kütle haline gelirler. Bu noktada ortam sıcaklığı, hala kömürün normal ergime sıcaklığının altında olabilmektedir.

Aglomerasyonun oluşmasında; yatak içi sıcaklık dağılımları, kömür (kül) ve yatak malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri, yatak geometrisi, akışkanlaştırıcı gaz hızı gibi çeşitli değişkenler rol oynamaktadır (Atakül, 1986).

Atakül (1986) üç değişik Çan numunesi ile yaptığı çalışmalarda linyit tanecik boyutunun artması ile aglomerasyon sıcaklığının arttığını gözlemiştir. Aynı çalışmada aglomerasyon olayının yatak malzemesi türü ve tanecik boyutunun yanı sıra dinamik ve statik yatak yükseklikleri tarafından da etkilenebildiğini ortaya konmuştur. Atakül (1986) hava debisindeki artışın aglomerasyonu önlemede önemli olduğuna ve Na ve K içeriği en yüksek olan linyit numunesinin aglomerasyona en yatkın kömür olduğuna dikkati çekmektedir.

Aglomerasyon olayının aydınlatılması konusunda ortaya konan modeller olayı tam olarak açıklayacak teorik derinlikten yoksun kalmıştır. Rumpf (1962) aglomerasyon olayını tanecikler arası etkileşim kuvvetlerine dayandıran teorik bir model önermiştir. Ancak bu model sistemin kararlılığını tanımlamaktan uzak kalmıştır. Siegel (1976) geri akışkanlaşma olayı üzerine geliştirdiği modelle birlikte ayrıca değişik ikili sistemler için geri akışkanlaşma indeksi de tanımlamıştır. Buna göre aglomerasyon hızı, sıcaklığın yükselmesi ile artmakta, buna karşın akışkanlaşma hızının artması ile azalmaktadır. Hızlı karışan bir ortamda oluşan aglomere kütleler çarpışma sonucu dağılmakta ve böylece aglomerasyon önlenmektedir. Genelde, küçük tanecikler büyük taneciklere kıyasla geri akışkanlaşmaya daha elverişli bir ortam oluşturmaktadır.

Siegel (1976), taneciklerin yüzey büyüklüğünü, yapışkanlığını ve hareketini göz önüne alarak aglomerasyon hızını aşağıdaki bağıntı ile tanımlamıştır:

$$\text{Aglomerasyon Hızı} \cong \frac{\text{Yapışma x Yüzey Alanı}}{\text{Momentum}}$$

Bu eşitlikte yapışma

$$\text{Yapışma} \cong g \cdot a''' \frac{T - T_s}{T_s}$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada g yerçekimi ivmesi, a''' temas basıncı terimi, T geri akışkanlaşma sıcaklığı, T_s ise sinterleşme başlangıç sıcaklığıdır.

Gluckman ve diğ. (1976) ile Siegel (1984) aglomerasyon başlangıç sıcaklığını belirlemede sinterleşme sıcaklığının (T_s), deformasyon başlangıç sıcaklığına (T_D) kıyasla çok daha belirleyici bir parametre olduğunu savunarak, bu sıcaklığı belirlemek için dilatometrik bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem daha sonra Basu (1982) ile Basu ve Sarkai (1983) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde, kül belirli bir yüksekliği sağlayacak şekilde dilatometrenin tüpüne doldurulur ve tüp bir piston ile kapatılır. Tüp belirli bir hızla ısıtılarak külün termal genişmesi pistonu bağlı olan bir gösterge yardımıyla izlenir. Başlangıçta doğrusal bir artım gösteren termal genişme belirli bir sıcaklık değerinden sonra şiddeti gittikçe azalan bir artış gösterir ve bir tepe noktasından sonra azalmaya başlar. Eğrinin doğrusallıktan saptığı sıcaklık sinterleşme başlangıç sıcaklığı olarak adlandırılır.

Tardos ve diğ. (1985) yaptıkları modelleme çalışmasında, akışkan yatakta oluşacak en büyük boyutlu aglomere kütleyi kırarak sistemin sürekli olarak akışkanlaşmasını sağlayacak akışkanlaşma hızı ve sıcaklığı bulmaya çalışmışlardır. Sistemin kararlılığını sağlayan bu akışkanlaşma hızı ve sıcaklık, minimum akışkanlaşma hızı ve sinterleşme sıcaklığından daha yüksektir. Bu model, akışkan yataktaki gaz akışı nedeni ile oluşan hidrodinamik kuvvetler ile habbeciklerin oluşturduğu kayma kuvvetlerinin, oluşan aglomere kütlelerin dirençlerini kırması prensibine dayanmaktadır. Model, küçük akışkan yataklar için görece iyi sonuçlar vermektedir.

Manzoori ve Agarwal (1994) yaptıkları mekanistik modelleme çalışmasında, akışkan yatak ortamında bulunan parçacıkların sinterleşme sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda yüzeylerinin yapışkan bir film tabakasıyla kaplandığını ve belirli kritik bir kalınlığın üzerinde aglomerasyon oluşumunun başladığını belirtmektedirler. Araştırmacılar, bu

film kalınlığını karakterize bazı katsayılar tanımlamışlar, ancak bu katsayıları külün kimyasal bileşimi ile ilişkilendirmemişlerdir.

Aglomerasyon konusunda literatürde bulunan modellerin çoğu aglomerasyonun oluşumunu ve gelişmesini açıklayan mekanistik modellerdir. Bu modeller aglomerasyon koşullarını sinterleşme sıcaklığı ile ilişkilendirmekte, ancak aglomerasyon sıcaklığı ile külün kimyasal bileşimi arasında geçerli bir ilişki kuramamaktadır. Küllerin kimyasal bileşimi ile ergime sıcaklıkları arasındaki ilişkiyi tanımlamak üzere gerçekleştirilen modeller ise, ancak, dar sınırlar içinde geçerli olabilmekte ve genelleştirilememektedirler. Bu nedenle, aglomerasyon olayının gelişmesinin sürekli çalışan akışkan yataklı yakıcılarda gözlenmesi ve aglomerasyon sıcaklığının bu koşullarda ölçülmesi gerekmektedir.



BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1.Linyit ve Yatak Malzemesi Numunelerinin Tanımlanması

Deneysel çalışmalarda kullanılan linyit numuneleri Türkiye Kömür İşletmelerinin (TKİ) Beypazarı, Çan, Soma, Tunçbilek ve Yatağan 'daki ocaklarından temin edilmiştir.

Linyit numuneleri çeneli bir kırıcıda kırılmış ve 1.0 mm altı, 1.0-1.9 mm, 1.9-2.7mm, 2.7-3.3 mm ve 3.3 mm üstü olmak üzere elenerek, tanecik boyutlarına göre sınıflandırılmıştır. Deneylerde 1.0-1.9 mm, 1.9-2.7 mm ve 2.7-3.3 mm olmak üzere üç linyit fraksiyonu kullanılmıştır.

Parçacık boyutuna bağlı olarak kimyasal yapıda ortaya çıkabilecek farklılıklar göz önüne alınarak, her boyuttaki kömürden eşit miktarlarda numune alınıp paçallanmış ve bir ultra kırıcıda 0.2 mm 'nin altına kadar öğütülmüştür. Öğütülen numunelerden ikiye bölme yöntemi ile analizler için numune alınmıştır.

Yatak malzemesi olarak kuvars kumu ve dolomit kullanılmıştır. Kum Ege-Nazilli bölgesinden, dolomit ise Türkiye Şişe Cam Fabrikaları A.Ş. Topkapı Şişe Cam Fabrikasından sağlanmıştır. Deneysel çalışmalarda 0.6-1.0 mm 'lik fraksiyon ve 1.0-1.4 mm 'lik fraksiyon olmak üzere iki farklı boyuttaki yatak malzemesi kullanılmıştır.

3.2.Numunelere Uygulanan Analizler

Kullanılan numunelerin ve yatak malzemelerinin özelliklerini saptamak amacıyla, bu numunelere TSE standartlarında, bunların bulunmadığı hallerde ise ASTM ve DIN standartlarında belirtilen analiz yöntemleri kullanılarak gerekli analizler yapılmıştır.

3.2.1.Kısa, Elementel Analiz ve Isıl Değer Tayini

Linyit numunelerinde toplam nem TS 690, kül TS 330 ve uçucu madde TS 711 ‘e göre hesaplanmıştır. Sabit karbon miktarı aradaki farktan bulunmuştur. Isıl değerler DIN 1900 ‘e göre izotermal kalorimetre bombası kullanılarak hesaplanmıştır. Karbon, hidrojen, azot, oksijen ve kükürt değerleri Heraus marka elementel analiz cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Kısa analiz sonuçları Tablo 3.1, elementel analiz sonuçları ise Tablo 3.2 ‘de verilmiştir. Çalışmada kullanılan linyit numunelerinin içerdiği kükürt türlerine ait analiz sonuçları ise Tablo 3.3 ‘de verilmiştir.

Tablo 3.1. Linyit numunelerinin kısa analizleri

Kömür	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Üst Isıl Değer (%)
Beypazarı	23.70	37.89	34.97	3.44	2630
Çan	13.35	10.96	36.60	39.09	5355
Kısrakdere	20.09	10.86	39.36	29.54	4589
Tunçbilek	8.62	33.71	30.55	27.11	4348
Yatağan	15.82	10.54	47.29	26.36	5306

Tablo 3.2. Linyit numunelerinin elementel analizleri

Kömür	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	S* (%)
Beypazarı	29.67	2.90	0.8	0.36	4.68
Çan	58.68	4.44	1.40	6.21	4.96
Kısrakdere	57.27	4.46	0.53	3.26	3.38
Tunçbilek	42.39	3.40	1.37	9.17	1.33
Yatağan	44.97	4.15	1.00	21.25	2.28

*Toplam Kükürt

Tablo 3.3. Linyit numunelerinin içerdiği kükürt türleri

Kömür	Toplam Kükürt (%)	Yanabilir Kükürt (%)	Sülfat Kükürtü (%)	Piritik Kükürt (%)	Organik Kükürt (%)
Beypazarı	4.67	3.51	1.16	1.44	2.07
Çan	4.96	4.10	0.857	0.632	3.47
Kısrakdere	3.37	3.25	0.116	0.632	2.62
Tunçbilek	1.33	1.21	0.120	0.517	0.69
Yatağan	2.26	2.18	0.084	0.36	1.82

3.2.2.Küllerin Kimyasal Analizi

Külde yapılan kimyasal analizler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , P_2O_5 , CaO , MgO , K_2O ve Na_2O 'in analizlerini kapsamakta olup, ASTM D 2795-69 'a göre gerçekleştirilmiştir. Kül analizi sonuçları Tablo 3.4 'te verilmiştir.

Tablo 3.4.Linyit küllerinin kimyasal analizi

Kömür	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O
Beypazarı	38.52	11.69	7.85	4.75	20.32	2.14	1.02
Çan	37.96	21.09	3.34	0.83	29.01	0.86	0.13
Kısrakdere	30.06	22.03	19.35	2.17	5.29	0.47	0.74
Tunçbilek	54.52	19.80	2.49	3.36	10.77	0.55	1.46
Yatağan	19.66	15.15	22.70	4.31	8.61	0.59	0.67

3.2.3.Küllerin Özgül Sıcaklıklarının Tayini

Kömür küllerinin deformasyon, yumuşama, yarı küreselleşme ve akma (ergime) sıcaklıkları, ASTM D 1857-68 'e göre LECO-AE-500 tipi bir cihaz kullanarak TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde yapılmıştır. Cihaz, 260-1650°C aralığında ve $\pm 5^\circ\text{C}$ hassasiyetle çalışmaktadır. Ölçümler yükseltgen ortamda yapılmıştır. Ölçülen başlangıç deformasyon (T_D), yumuşama (T_S), yarı küreselleşme (T_H) ve ergime sıcaklıkları Tablo 3.5 'te verilmiştir

Tablo 3.5. Linyit numunelerinin özgül kül sıcaklıkları ($^\circ\text{C}$)

Kömür	T_D	T_S	T_H	T_F
Beypazarı	1115	1156	1220	1296
Çan	1225	1322	1348	1396
Kısrakdere	1228	1298	1368	1400
Tunçbilek	1224	1268	1335	1397
Yatağan	1249	1275	1292	1430

3.2.4.Linyit ve Yatak Malzemesi Numunelerinin Minimum Akışkanlaşma ve Terminal Hızları

Linyit ile yatak malzemesi olarak kullanılan kuvars kumu ve dolomit numunelerinin minimum akışkanlaşma ve terminal hızları basınç düşüşü ölçme yöntemiyle

saptanmıştır. Bu yöntemde, belirli miktarda malzeme akışkan yatağa doldurulduktan sonra, minimum akışkanlaşma hızının üzerindeki bir hızda akışkanlaştırılmıştır. Daha sonra akışkanlaşma hızı (U) kademeli olarak düşürülmüş ve her hız için yatak basınç düşüşü (ΔP) ölçülmüştür. Hıza karşı, ΔP değerleri grafiğe geçirilerek ortalama minimum akışkanlaşma hızı (U_{mf}) değeri saptanmıştır. Terminal hızı belirlemek için ise, benzer şekilde akışkanlaştırılan yatakta hızlar kademeli olarak artırılmış ve her hız için ölçülen (ΔP) değerleri hıza karşı grafiğe geçirilerek terminal hız (U_t) değeri belirlenmiştir. Elde edilen minimum akışkanlaşma ve terminal hız değerleri Tablo 3.6 'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Linyit ve yatak malzemesi numunelerinin ortalama minimum akışkanlaşma ve terminal hız değerleri

Numune	Boyut (mm)	U_{mf} (m/s)	U_t (m/s)
Linyit	1.0-1.9	0.8	5.3
	1.9-2.7	1.0	6.7
	2.7-3.3	1.3	7.5
Kuars	0.6-1.0	0.5	4.6
	1.0-1.4	0.6	6.4
Dolomit	0.6-1.0	0.7	5.1
	1.0-1.4	0.8	6.5

3.2.5.Linyit Numunelerinin Kırılgenlikleri

Linyit numunelerinin kırılgenlikleri ASTM D3402-93 'e göre tambur testi uygulanarak belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.7 'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Linyit numunelerinin kırılgenlik değerleri

Kömür	Kırılan Linyit Miktarı (%)
Beypazarı	23.9
Çan	1.8
Kısrakdere	12.4
Tunçbilek	10.8
Yatağan	20.3

3.2.6.Dolomitte Yapılan Analizler

Dolomitin, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO ve kızdırma kaybını içeren kimyasal analizleri söz konusu maddeyi sağlayan kurumda ve standart yöntemlerle yapılmıştır. Dolomit 'in kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.8 'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Dolomitin kimyasal analiz değerleri.

Bileşen	%
SiO_2	0.79
Al_2O_3	0.21
Fe_2O_3	0.087
CaO	32.20
MgO	19.87
Kızdırma Kaybı	46.84

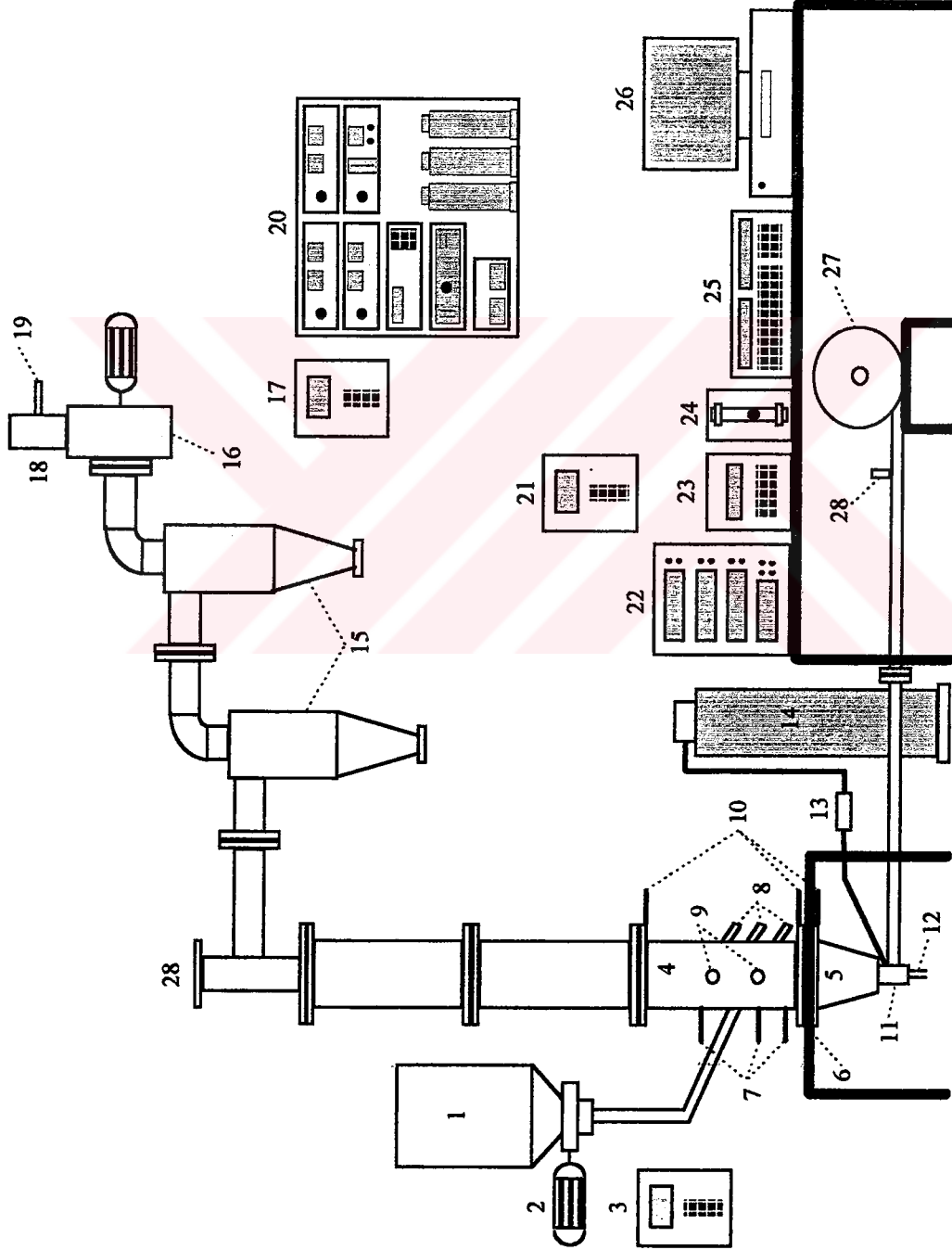
3.3. Deney Düzenegi

Deneylerde kullanılan akışkan yataklı yakma sistemi, elle kumandalı, yarı otomatik veya bilgisayar kontrollu olarak sürekli çalışabilecek şekilde yapılmıştır. Şekil 3.1 'de şematik olarak gösterilen deney düzenegi temel olarak akışkan yatak, ön ısıtma sistemi, kömür ve sorbent besleme birimleri, basınç ölçme düzenegi, siklonlar, besleme ve emiş fanları, gaz analiz sistemi ile kontrol ünitelerinden oluşmaktadır.

3.3.1. Akışkan Yatak, Ateşleme ve Besleme Sistemleri

Akışkan yatak, temel olarak yanma odası (4), rüzgar odacığı (5) ve dağıtıcı elekten (6) oluşmaktadır. İnert yatak malzemesinin konulduğu, akışkanlaşma ve yanma olaylarının gerçekleştiği yanma odası (4) 100 mm çapında ve 1500 mm yüksekliğinde paslanmaz çelikten yapılmış silindirik bir gövdeden oluşmaktadır. Akışkan yatağın gövdesi üzerinde dağıtıcı elekten itibaren değişik yüksekliklerde ısı çift girişleri (7), kömür besleme (1) ve kül çekme boruları (8), çeşitli prob girişleri için delikler (10) ve ön yüzde iki adet gözetleme penceresi (9) bulunmaktadır. Deneylerde üç adet ısı çift kullanılmış (7) ve bunlar dağıtıcı elekten itibaren 50, 150 ve 300 mm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Bu yüksekliklerde okunan sıcaklıklar sırasıyla T_1 , T_2 ve T_3 olarak kodlanmıştır. Kömür besleme (1) girişi 200 mm yüksekliktedir. Besleme girişinin tam

1. Kömür haznesi
2. Kömür besleme sistemi
3. Kömür besleme debisi kont. ün.
4. Yanma odası
5. Rüzgar odacığı
6. Dağıtıcı elek
7. Isıl çifler
8. Kül taşkanları
9. Gözetleme pencereleri
10. Basınç transmitteri
11. LPG beki
12. Alev dedektörü
13. LPG debisi kontrol ünitesi
14. LPG tüpü
15. Şiklonlar
16. Emiş fanı
17. Emiş fanı kontrol ünitesi
18. Atık gaz çıkışı
19. Gaz analiz sistemi
20. Gaz analiz sistemi
21. Hava fanı debisi kontrol ün.
22. Elle kontrol sistemi
23. LPG ateşleme kontrol ünitesi
24. İkincil hava debi ölçeri
25. Veri toplama/kontrol ünitesi
26. Kontrol bilgisayarı
27. Hava Fanı
28. Hava hızı ölçüm probu
28. Gözetleme penceresi



Şekil 3.1. Akışkan yataklı yakma sistemi

karşısında 100, 200 ve 300 mm yüksekliklerde taşkanlar (8) bulunmaktadır. Bu borular aynı zamanda dinamik yatak yüksekliğini ayarlama görevi de yapmaktadırlar.

Akışkan yatak çıkışına seri olarak iki adet siklon (15) bağlanmıştır. Siklon bağlantısının dirsek yaptığı yerde kapaklı bir gözetleme penceresi (28) bulunmakta ve bu pencere gerektiğinde fotoğraf çekmek veya video kamera ile görüntü almak amacıyla da kullanılabilir.

Konik yapıda olan rüzgar odacığı (5) ön ısıtma amacıyla da kullanılmaktadır. Bu bölüm alttan LPG beki (11), üstten ise dağıtıcı eleğe (6) bağlıdır. Akışkan yatağın ön ısıtılması LPG (14) kullanılarak yapılmaktadır. LPG bir bek (11) yardımı ile dağıtıcı eleğin altındaki rüzgar odacığında yakılmakta ve oluşan sıcak yanma gazları dağıtıcı elekten (6) geçerek yatağı (4) ısıtmaktadırlar. Ön ısıtma sisteminin en önemli bölümü ateşleme ünitesidir. Bu ünite temel olarak yanma beki (11), iki adet gaz regülatörü (13), selenoid valfler (13) ve bağlantı elemanlarından oluşmaktadır.

Yanma ve akışkanlaşma havası bir besleme fanı (27) vasıtası ile sağlanmaktadır. Hava debisi, bilgisayardan (26) gönderilen kontrol sinyaline göre bir envertörün (21) fan dönüş hızını değiştirmesi ile ayarlanmaktadır. Ayrıca, fan motorunun kendi fren sistemi de bulunmaktadır.

Kömür besleme sistemi, mekanik kısım (2) ve envertör (3) olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Mekanik kısımda (2) 0.75 kW 'lık redüksiyonlu bir motor bulunmaktadır. Motorun hareket miline bağlı tambur, kömür besleme deposundan (1) aynı hacimlerde kömürü alarak akışkan yatağa (4) beslemektedir. Bilgisayardan (26) envertöre (3) gönderilen belli bir kontrol sinyali (0-10 V) ile motorun (2) dönüş hızı ve dolayısıyla kömür debisi kontrol edilebilmektedir.

Dağıtıcı elek ve yatak basınç düşüşlerini (ΔP_d , ΔP_b) ölçmek için, dağıtıcı eleğin (6) hemen altına, üstüne ve yatak yüzeyinin üstüne problemler (10) yerleştirilmiştir. Problemler bir basınç-fark transmitterine (10) bağlanmıştır. Transmitter 'de biri alçak ve biri adet yüksek olmak üzere iki basınç girişi bulunmaktadır. Dolayısıyla ancak bir adet basınç farkı okumak mümkün olmaktadır. Birden fazla fark basıncı okumak amacı ile dağıtıcı eleğin (6) altına ve üstüne yerleştirilen problemler transmitter 'ın yüksek basınç girişine bağlanmış ve her prob ile transmitter arasına bir adet selenoid valf konulmuştur.

Yatağın üst kısmına yerleştirilen prob ise transmitter 'ın düşük basınç girişine bağlanmıştır. Böylece dağıtıcı eleğın altına yerleştirilen basınç probu hattındaki selenoid valfin kapalı, diğer selenoid valfin açık tutulmasıyla yatak basınç düşüşü (ΔP_b) ölçülebilmektedir. Kapalı selenoidin açılması, açık olanının ise kapatılması ile de toplam basınç düşüşü ($\Delta P_t = \Delta P_d + \Delta P_b$) ölçülmekte ve sonuçlar bilgisayara gönderilmektedir.

3.3.2. Gaz Analiz Sistemi

Yanma sırasında oluşan yanma gazlarının CO, SO₂, NO_x ve O₂ içeriklerini ölçmek amacıyla Hartman&Braun marka bir gaz analiz sistemi (20) kullanılmıştır. Bu sistem kesintisiz olarak çalışmaktadır. Gaz numune alma probu (19) siklonlardan (15) sonraki gaz hattı üzerine yerleştirilmiştir. Sistemin bünyesinde bulunan bir pompa ve gaz hattı vasıtasıyla ile çekilen gaz numunesi, bir soğutma odasından geçirildikten sonra debisi ayarlanmakta ve analiz ünitelerine gönderilmektedir. Soğutma odasında su buharı yoğunlaştırılarak gazlardan uzaklaştırılmaktadır. Gaz numunenin debisi gaz besleme bölümünde ayarlanmaktadır. Ölçüm üniteleri ve prensipleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

1. Kalibrasyon tüpleri: Gaz analiz sistemi, belirli aralıklarla kalibrasyon gazları kullanılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon tüpleri, değişik derişimlerde saflık derecesi yüksek CO, SO₂, NO_x ve O₂ gazlarının karışımlarını içermektedir.
2. Gaz numune alma hattı: Bu hat yardımıyla deney sisteminden alınan gaz numune analiz sistemine taşınmaktadır.
3. Gaz soğutma bölümü: Sisteme gelen gaz, önce bu bölümde soğutularak içerdığı su buharı yoğunlaştırılmaktadır.
4. Gaz numune besleme bölümü: Bu bölümde, gaz numunesinin akış hızları ayarlanarak analiz bölümüne gönderilmektedir.
5. Termomanyetik oksijen analiz cihazı: Termomanyetik prensiple çalışan bu cihaz, gaz numunesinin içerdığı oksijen miktarını yüzde (ölçüm aralığı %0-21 hacim) oksijen cinsinden saptamaktadır.

6. Kızıl ötesi gaz analiz cihazları: Kızıl ötesi ışınların adsorpsiyonunun gazın derişimine bağı olarak değışmesi prensibine dayanan cihazlardır. Bu cihazlar CO ve SO₂ derişimlerini ölçmek amacıyla kullanılmaktadırlar. CO ölçüm aralığı 0-5000 mg/m³, SO₂ ölçüm ise 0-2445 mg/m³ 'tür.

7. Endüstriyel fotometre: Çalışma prensibi mor ötesi ışınların adsorpsiyonunun gazın derişimine bağı olarak değışmesine dayanmaktadır. Bu cihaz, seçime bağı olarak NO veya NO+NO₂ gazlarının derişimini ölçmek için kullanılmaktadır. Ölçüm aralığı 0-1000 mg/m³ 'tür.

3.3.3. Bilgisayarlı Kontrol ve Veri Toplama Sistemi

Akışkan yataklı yakıcı bilgisayarlı bir kontrol ve veri toplama sistemi ile donatılmıştır. Bu sistem vasıtasıyla sıcaklıklar, dağıtıcı elek ve yatak basınç düşüşü, yakma havasının hızı, gaz bileşimi ölçülebilmekte ve/veya kontrol edilebilmektedir.

Bilgisayarlı kontrol sistemi, mühendislik ve kontrol uygulamaları için özel olarak üretilmiş iş istasyonu (workstation) türü Hewlett Packard (HP) 9000/300 serisi bilgisayar, HP Thinkjet yazıcı, altı kalemli HP Colorpro çizici (plotter) ile HP 3852A veri toplama/kontrol (data acquisition/control) ünitelerinden oluşmaktadır.

Bilgisayarla deney sistemi arasında bir köprü oluşturan veri toplama ünitesi (25) (HP 3852A), deney sisteminden gelen analog sinyalleri okuyarak sayısal sinyallere dönüştürmekte ve bilgisayara göndermektedir. Ayrıca, bilgisayarın deney sistemine gönderdiği sayısal kontrol sinyallerini de analog sinyallere dönüştürerek sisteme göndermektedir.

Deneylerin yürütülmesinde kullanılan kontrol programı, özellikleri yukarıda sözü edilen HP 9000/300 serisi bilgisayar için özel olarak tasarlanmış olan Basic 5.1 programlama dilinde yazılmıştır. Program, bir ana program ve buna bağı değışik görevlere sahip alt programlardan oluşmaktadır. Program hem deney süresince hem de deney sonrasında kullanılmaktadır.

Deneylerin başında bilgisayara deneyle ilgili bilgiler girilmekte ve deney başlatılmaktadır. Deney süresince bilgisayar, sistemden saniyede bir kez olmak üzere 4

sıcaklık, 4.derişim (yanma gazlarının içerdđđ NO_x, SO₂, O₂ ve CO), 2 basınç düşüşü ve 1 akışkanlaştırıcı hava hızı olmak üzere toplam 11 değışik değeri okunmaktadır. Bu bilgiler aynı zamanda yazıcıya da gönderilmektedir. Okunan bilgiler bilgisayar ortamında değeriendirildikten sonra hava besleme fanı, kömür besleme motoru, emiş fanı ve ön ısıtma ünitesine kontrol sinyalleri gönderilmektedir. Bilgisayar tarafından toplanan ve sisteme kontrol amacı ile gönderilen büyüklüklerin tümü ekranda grafik ve sayısal olarak gösterilmektedir. Bu verilerin tümü 15 saniyede bir diskete kaydedilmekte ve dakikada bir de yazıcıya gönderilmektedir.

Deney sonrasında programın ikinci bölümü kullanılarak deney sürecinde okunan büyüklükler bir liste halinde tekrar görüntülenebilmekte, çeşitli şekillerde grafiklenebilmekte veya çeşitli matematiksel yöntemlerle değeriendirilebilmektedir.

3.4. Deneylerin Yürütülmesi

Deneylere başlamadan önce, akışkan yatağın içi ve siklonlar temizlenerek içerdđđ kül, yatak malzemesi ve tozlardan arındırılmış ve akışkan yatağa belli bir sabit yatak yüksekliğine kadar yatak malzemesi doldurulmuştur. Daha sonra bilgisayar devreye alınarak, kontrol programı yüklenmiş ve çalıştırılmıştır. Bilgisayara deneye ait ön bilgiler girilmiş ve hava besleme fanı çalıştırılmıştır. Fanın normal olarak çalıştığına dair mesaj alındıktan sonra, ön ısıtma işlemi başlatılmıştır. Ön ısıtma sistemi akışkan yatak sıcaklığı kömür tutuşma sıcaklığının üstüne çıkıncaya kadar devrede kalmaktadır. Tutuşma sıcaklığı aşıldıktan sonra (>500°C) sisteme kömür beslenmiş, bir müddet kömür ile LPG birlikte yakılmıştır. Kararlı yanma başladıktan sonra (~700-750°C) ön ısıtma sistemi kapatılarak, belirlenen deney koşullarında kömür yakma deneylerine geçilmiştir.

Deneylerde dağıtıcı elekten itibaren 50, 150 ve 300 mm yüksekliklerdeki sıcaklıklar ölçülmüştür. Bu yüksekliklerdeki sıcaklıklar sırasıyla T₁, T₂ ve T₃ olarak kodlanmıştır. Bunun yanı sıra daha önce belirtilen yöntemlerle yanma gazlarının içerdđđ O₂, NO_x, SO₂ ve CO miktarları ölçülmüştür. Bu ölçümler sürekli olarak bilgisayar ortamında toplanmış ve saklanmıştır. Deneyler sırasında, yanmanın gelişimi bir gözetleme penceresi yardımıyla ayrıca çıplak gözle izlenmiştir. Bilgisayar vasıtası ile toplanan veriler daha sonra değeriendirmeye tabi tutulmuştur.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Türk linyitlerinin akışkan yataklı yakıcılarda yanma süreçlerinin ve aglomerasyonun oluşma koşullarının incelendiği bu çalışmada Beypazarı Çan, Kısırkdere (Soma), Tunçbilek ve Yatağan bölgelerinden seçilen beş değişik linyit numunesi kullanılmıştır. Bu linyit rezervleri ülkemizin en önemli ve büyük linyit kaynakları arasında yer almaktadır. Çan linyiti dışındaki bütün linyitler halen elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Çan 'da ise basınçlı-hızlı akışkan yataklı bir elektrik santrali kurulma aşamasında bulunmaktadır. Bu santralde Çan bölgesi linyitleri kullanılacaktır. Bu linyitlerin akışkan yatakta yanma özellikleri ile ilgili temel çalışmaların yapılması ve verilerin toplanması ileride kurulacak akışkan yataklı santrallerin özellikleri, işletilmesi ve çevresel etkilerinin belirlenmesi açısından bir katkı oluşturacaktır. Bu çalışmada, yukarıda sözü edilen linyitlerin akışkan yatakta yanma özellikleri incelenmiştir. Çalışmada, linyitlerin akışkan yatak yanma sürecini karakterize eden kararlı yanma koşulları, yayınımlar (emisyonlar) ve aglomerasyon koşulları üzerinde durulmuştur. Yatak malzemesi olarak, kuvars ve dolomit olmak üzere iki değişik malzeme kullanılmıştır. Akışkan yatakta gerçekleştirilen yanma deneylerinin koşulları Tablo 4.1 'de verilmiştir.

Kuvars kumu her yerde kolayca bulunabilen veya temin edilebilen, uygun özelliklere sahip ve ucuz bir yatak malzemesidir. Bu nedenle, bu çalışmada incelenen linyitlerin tümü kuvars kumu içeren akışkan yatakta yakılmış ve yanma süreçleri incelenmiştir. Bunun yanı sıra yatak malzemesi türünün yanma sürecine olan etkisini belirlemek amacıyla linyitlerden biri (Kısırkdere) dolomit içinde de yakılmıştır. Tablo 4.1 'de de görüldüğü gibi yatak malzemesi boyutunun yanma sürecine olan etkisini araştırmak amacıyla Beypazarı linyiti 0.6-1.0 mm ve 1.0-1.4 mm boyutlarında olmak üzere iki değişik kuvars kumu fraksiyonu kullanılarak yakılmıştır.

Tüm deneylerde statik yatak yüksekliği (h_s), dinamik yatak yüksekliği (h_d), akışkanlaşma hızı (u) ve hava fazlalık oranı (η) sabit tutulmuştur. Kömür besleme debisi (F_k) ise yanma süreci boyunca istenen sıcaklığı sağlamak amacıyla değiştirilmiş ve her debide ortalama 30 dakika civarında kalınmıştır. Hava fazlalık oranını sabit tutmak amacıyla ikincil hava miktarı kömür debisinin değişimine bağlı olarak değiştirilmiştir.

Tablo 4.1. Akışkan yatak yanma deneylerinin koşulları.

Kömür	Kömür Boyutu (mm)	Yatak Malzemesi	Yatak Malzemesi Boyutu (mm)
Beypazarı	1.0-1.9 1.9-2.7 2.7-3.3	Kuvars	0.6-1.0 1.0-1.4
Çan	1.0-1.9 1.9-2.7 2.7-3.3	Kuvars	0.6-1.0
Kısırakdere	1.0-1.9 1.9-2.7 2.7-3.3	Kuvars Dolomit	0.6-1.0
Tunçbilek	1.0-1.9 1.9-2.7 2.7-3.3	Kuvars	0.6-1.0
Yatağan	1.0-1.9 1.9-2.7 2.7-3.3	Kuvars	0.6-1.0
Deneysel büyüklükler			
Statik Yatak Yüksekliği (m)			0.1
Dinamik Yatak Yüksekliği (m)			0.3
Akışkanlaşma Hızı (m/s)			≈ 3
Hava Fazlalığı (%)			≈ 20
Kömür Besleme Debisi (g/dak)			$\approx 30-60$

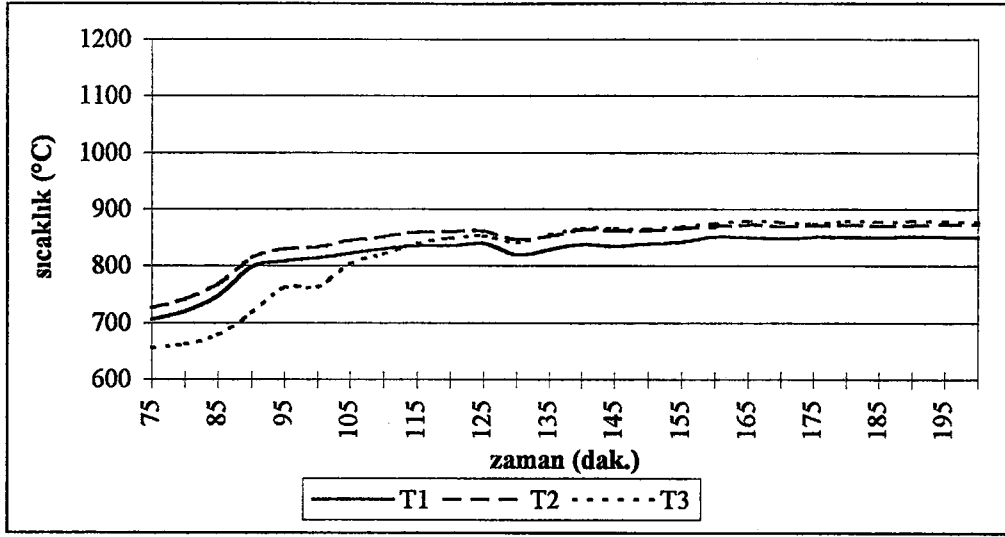
4.1. Beypazarı Linyitinin Akışkan Yatakta Yanma Sürecinin Özellikleri

Beypazarı linyitinin yanma deneyleri iki grup halinde yürütülmüştür. Birinci grupta 0.6-1.0 mm 'lik ince kuvars kumu, ikinci grupta ise 1.0-1.4 mm 'lik kaba kuvars kumu kullanılmıştır. Bunun amacı yatak malzemesi boyutunun yanma sürecini nasıl etkilediğini gözlemektir. Bu deneylerde, Tablo 4.1 'de belirtildiği gibi 1.0-1.9 mm, 1.9-2.7 mm ve 2.7-3.3 mm 'lik üç değişik linyit fraksiyonu kullanılmıştır. Anlatım kolaylığı açısından metin içerisinde bu fraksiyonlar sırasıyla “ince fraksiyon”, “orta fraksiyon” ve “kaba fraksiyon” olarak kullanılacaktır.

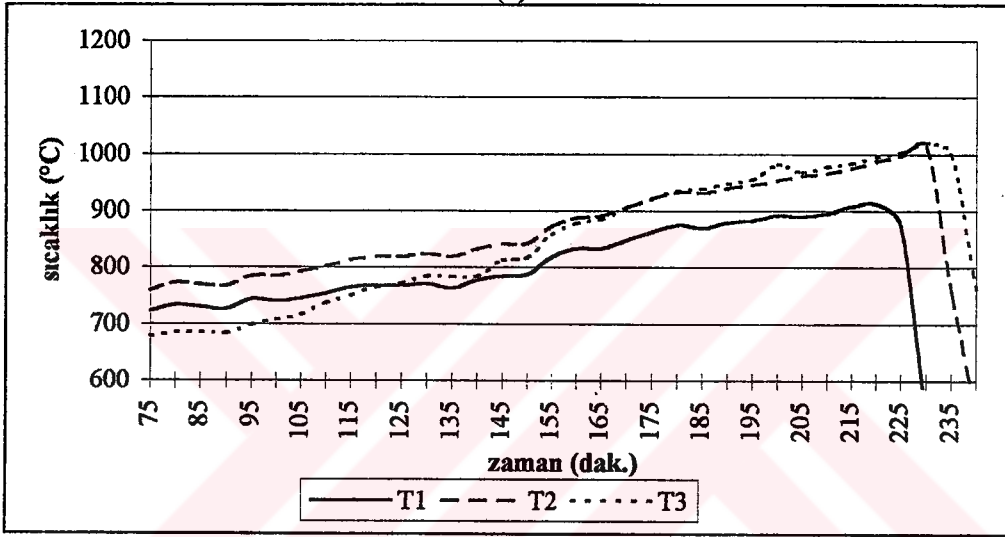
Birinci gruba ait yanma deneylerinin sıcaklık profilleri Şekil 4.1 'de verilmiştir. Sıcaklıklar dağıtıcı elekten itibaren $h=50$ mm, $h=150$ mm ve $h=300$ mm seviyelerinde ölçülmüştür. Bu sıcaklıklar sırasıyla, T_1 , T_2 ve T_3 simgeleriyle gösterilmiştir. İlk iki nokta yanmanın gerçekleştiği aktif yatakta, üçüncü nokta ise serbest bölgede yer almaktadır. Bölgeler arası sıcaklık farklılıklarını veya sıcaklık gradyanlarını tanımlamak için, $\Delta T_1=T_2-T_1$ ve $\Delta T_2=T_3-T_2$, terimleri kullanılmıştır.

Şekilden görüldüğü gibi, yanma sürecinin başlangıcında, aktif yatak içinde $h=150$ mm 'de ölçülen sıcaklık hem aktif yatağın alt bölgesi hem de serbest bölge sıcaklıklarından daha yüksek olmuştur. Zaman ilerledikçe, aktif yatak ve serbest bölge sıcaklıkları arasındaki fark (ΔT_2) azalmaya başlamıştır. Bu durum, bütün kömür fraksiyonları için söz konusudur. Ancak zaman içinde yatak içinde biriken külün, bir taraftan serbest bölge sıcaklıklarının artmasına neden olurken bir taraftan da aktif yatak içinde sıcaklık gradyanının (ΔT_1) büyümesine, yani sıcaklık dağılımının bozulmasına yol açtığı anlaşılmaktadır..

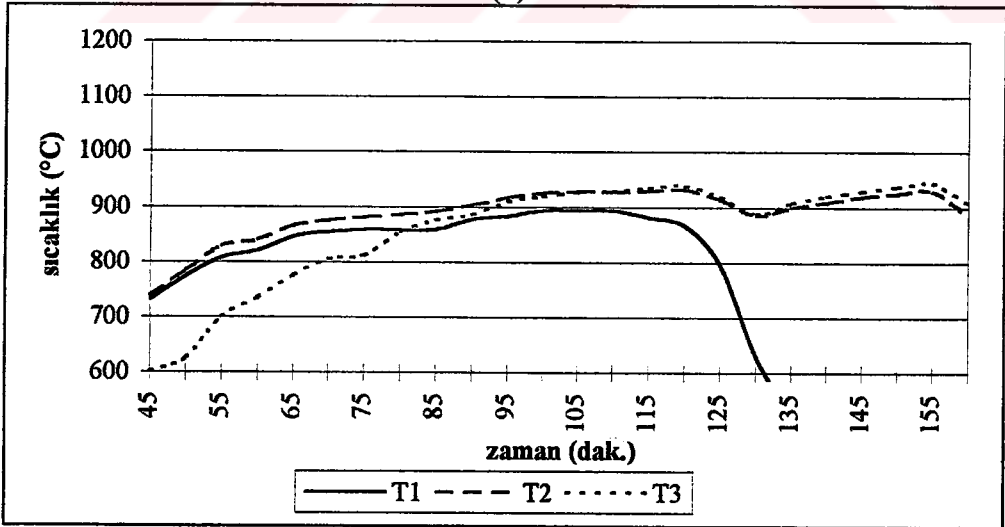
1.0-1.9 mm 'lik fraksiyonun yanma sürecinde, yanma sıcaklığının nispeten düşük kalmasından dolayı bu deney koşullarında herhangi bir aglomerasyon belirtisi ortaya çıkmamıştır. Bu sonuçlar Atakül ve diğ. 'nin (1990) elde ettiği sonuçlardan farklılık göstermektedir. Adı geçen araştırmacılar, yaklaşık aynı mertebelerdeki kömür ve yatak malzemesi tanecik boyutlarında akışkan yatakta ayrışmanın görüldüğünü belirtmektedirler. Ortaya çıkan bu farkın, bu çalışmada akışkanlaşma hızının daha yüksek (≈ 3 m/s) olmasından kaynaklandığı sanılmaktadır. Yüksek hava hızlarında kömür ve yatak malzemesi daha etkin bir şekilde karışmakta ve böylece iki malzeme



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.1. Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yatakta eksenel yöndeki sıcaklık dağılımları (YM: Kuvars 0.6-1.0 mm).

Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.

arasındaki boyut ve yoğunluk farkından kaynaklanan ayrışma eğilimi bastırılmış olmaktadır.

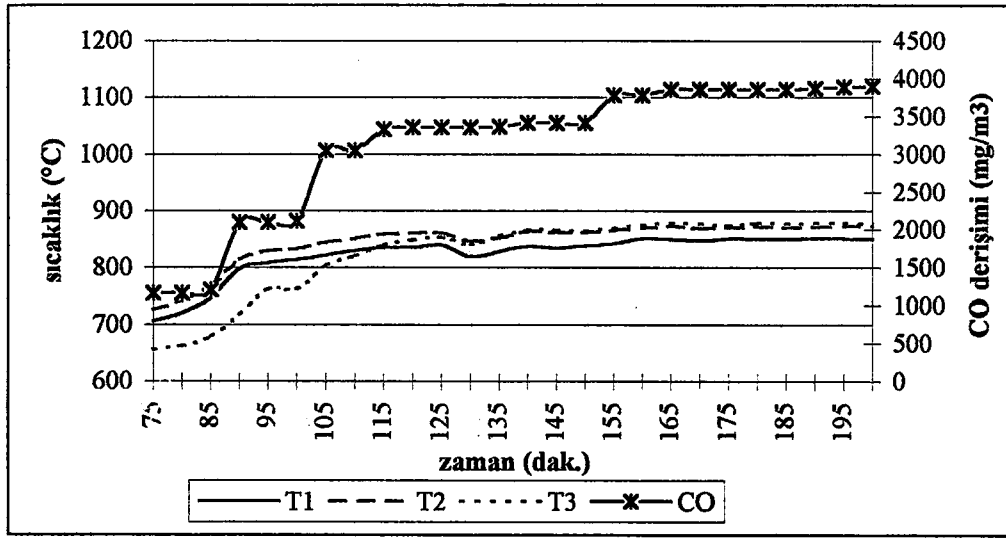
1.9 -2.7 mm ve 2.7-3.3 mm 'lik fraksiyonlar ile yürütülen yanma süreçlerinde, başlangıçta aktif yatak içinde belirli sıcaklık gradyeni olmasına karşın, bu gradyenin çok fazla değişmediği görülmüştür. Orta linyit fraksiyonu için bu durumun böyle devam etmesine karşın, kaba fraksiyonun yandığı akışkan yatakta durum daha farklı bir şekilde gelişmiştir. Aktif yatağın üst bölgelerinde ve serbest bölgede sıcaklıklar belirli bir seviyede kararlı bir şekilde seyretmesine karşın, dağıtıcı elek civarında sıcaklığın (T_1) sürekli bir şekilde düştüğü görülmektedir. ΔT_1 farkının sürekli artması, ayrışmanın başladığını ve bunun sonucunda aktif yatağın dağıtıcı eleğe yakın alt bölgelerinin soğuduğunu göstermektedir. Ayrışmanın başlaması, yanma sürecinin sürekliliğini ve kararlılığını olumsuz yönde etkilemiştir. Yanma daha çok aktif yatak yüzeyine yakın hacimde ve serbest bölgede yoğunlaşmıştır. 1.9-2.7 mm 'lik fraksiyon için sıcaklığın 990°C, 2.7-3.3 mm 'lik fraksiyonu için ise 970°C 'a ulaşmasından sonra sistemde aglomerasyon başlamış ve yanma sona ermiştir. Bu koşullarda aglomerasyonun başlamasının, sistemde külün birikmesinden kaynaklandığı sanılmaktadır. Külün birikmesine paralel olarak sistemde Na, K, Ca ve Mg oksitleri gibi, aglomerasyonda önemli rol oynadıkları bilinen maddelerin (Nowak ve diğ., 1991; Jung ve diğ., 1992) oranı da artmaktadır. Bu durum da aglomerasyon eğilimini güçlendirmektedir.

Sıcaklık profilleri, Beypazarı linyitinin bu çalışma koşullarında daha çok linyit yüzüşen bir rejimde yandığını ortaya koymaktadır. Bu durum çeşitli nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bunlar içinde en önemli neden yatak malzemesi olarak kullanılan kum ile kömür (kül) arasındaki yoğunluk farkıdır. Kullanılan kumun yoğunluğu 2400 kg/m³, kömürün ise yaklaşık olarak 1400 kg/m³ 'dır. I. grup deney koşullarında, kömür ile yatak malzemesi arasındaki boyut farkı kömürün lehine olmasına karşın, yoğunluk farkının dengelenemediği anlaşılmaktadır. Diğer taraftan Beypazarı linyiti numunesinin kül oranının %37.9 gibi çok yüksek bir değerde olması, sistemde önemli ölçülerde kül birikmesine yol açmaktadır. Külün birikmesi sonucunda, başlangıçta yalnızca kumdan oluşan tekil bir sistem olan akışkan yatak, adeta bir ikili sistem haline dönüşmektedir. Özellikleri farklı taneciklerden oluşmuş ikili sitemlerin karışma

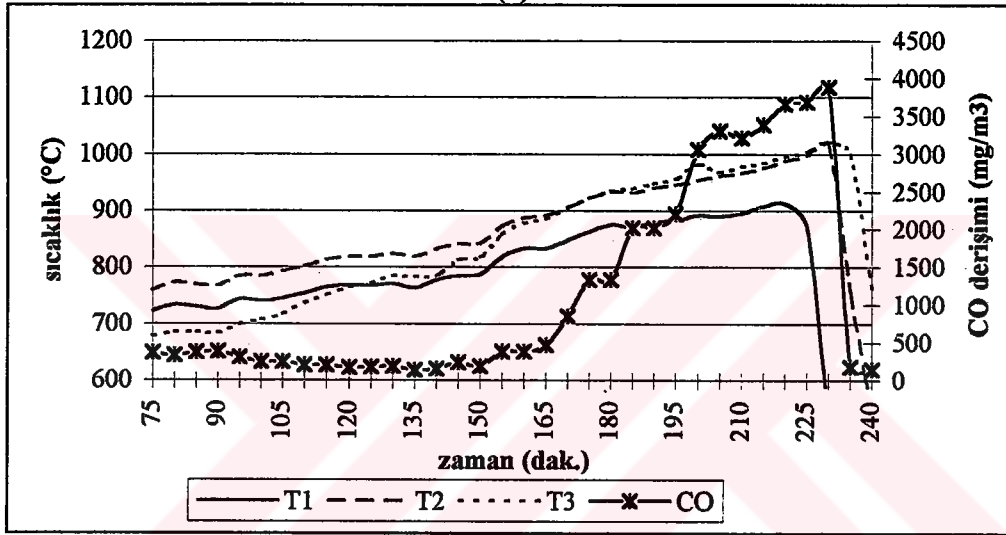
etkinliğinin veya kalitesinin tekli sitemlere kıyasla daha kötü olduğu bilinmektedir. İkili sistemlerin yanma süresince oluşan külün boyutu büzüşme, parçalanma, vs gibi nedenlerle, orijinal kömür boyutundan daha küçük olabilmektedir. Bu durum, kül (kömür)-kum ikili sisteminde kömür taneciklerinin aktif yatak bölgesinin üst kesimlerinde kalarak yanmasına ortam hazırlamaktadır. “Linyit yüzüşen zengin” olarak nitelendirilen bu yanma rejimi, aktif yatağın üst bölgelerinde ve serbest bölgede sıcaklığın daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Başka bir ifadeyle yanma aktif yatak yüzeyine yakın üst bölgelerde ve serbest bölgede yoğunlaşmıştır. Atakül (1986) benzer bir durumu gözlemiştir. Kül oranının yüksek olmasının da bu gelişmede katkısı bulunmaktadır.

Öte yandan Tablo 3.1 ‘deki kısa analiz sonuçları incelendiğinde, Beypazarı linyitinin uçucu madde oranının %35 civarında olduğu görülmektedir. Bu hayli yüksek bir değerdir. Akışkan yataklı yakma sistemlerinde, uçucu maddelerin çıkışı ve yanması süresince kömür tanecikleri daha çok yatak yüzeyine yakın bölgede kalmakta ve uçucu yanması bu bölgede gerçekleşmektedir (Pillai, 1982; Zhang ve diğ., 1990; Fiorentino ve diğ., 1997). Tablo 3.7 ‘de verilen linyit numunelerinin kırılabilirlik değerleri gözden geçirildiğinde Beypazarı linyitinin %23.9 ‘luk kırılabilirlik oranıyla çalışmada kullanılan diğer linyitler arasında en yüksek kırılabilirliğe sahip olduğu görülmektedir. Bu durum serbest bölgeye sürüklenen kömür miktarının artmasına yol açmaktadır. Bütün bu faktörlerden dolayı, özellikle ince kömür fraksiyonların yanması sırasında serbest bölgede önemli ölçülerde yanma gerçekleşebilmektedir. Bu durum ise doğal olarak serbest bölge sıcaklıklarına yansımaktadır.

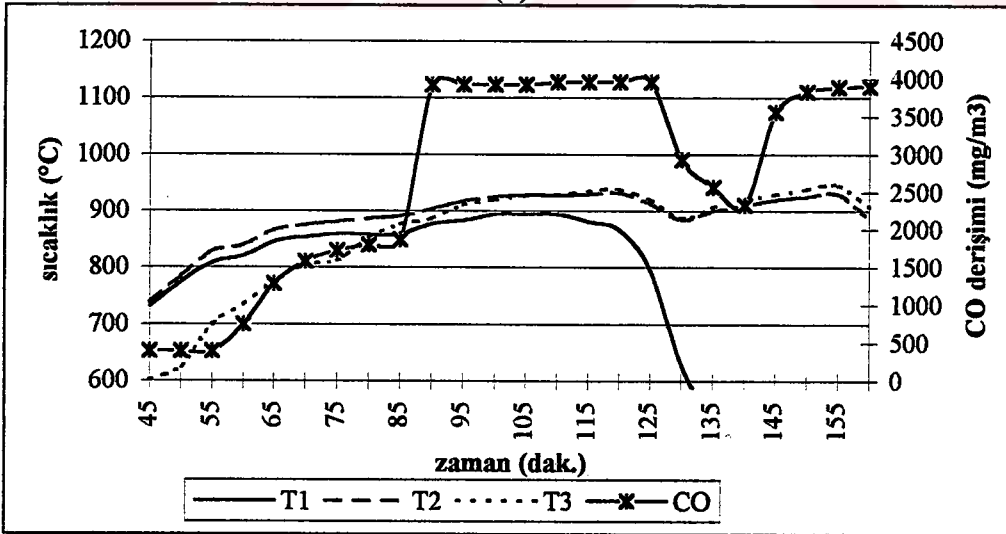
Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 ‘de sırasıyla Beypazarı linyitinin akışkan yatakta yanma sürecinin karbonmonoksit ve oksijen profilleri verilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, sürekli çalışan (on - line) bir gaz analiz sistemi kullanılarak siklonlardan sonraki bir noktada gaz numunesi alınarak çeşitli yayınımın ölçümü yapılmıştır. Şekil 4.2 ‘den, yanma gazlarındaki CO derişiminin koşullara bağlı olarak dalgalandığı anlaşılmaktadır. Yanmanın kararlı bir şekilde sürdüğü, sürüklenmenin düşük olduğu ve ayrışmanın görülmediği durumlarda CO yayını 1000 mg/m³ seviyelerinde kalmıştır. İnce linyit fraksiyonunun yandığı akışkan yatakta, Şekil 4.2a, CO derişimi 3000 - 4000 mg/m³ seviyelerine kadar çıkmıştır. Sekillerde yüksek sıcaklıklarda CO derişiminin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun, daha yüksek yatak sıcaklıklarına



(a)



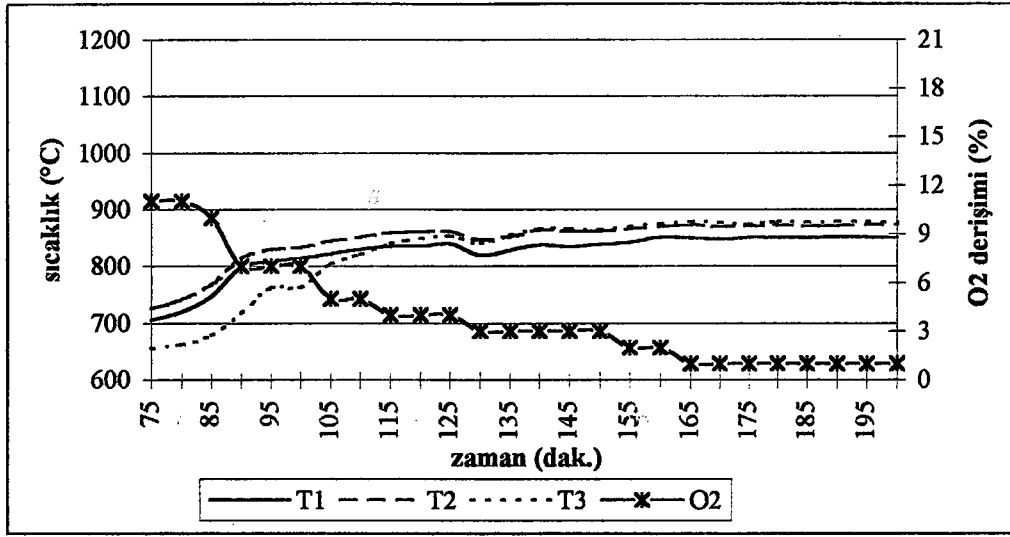
(b)



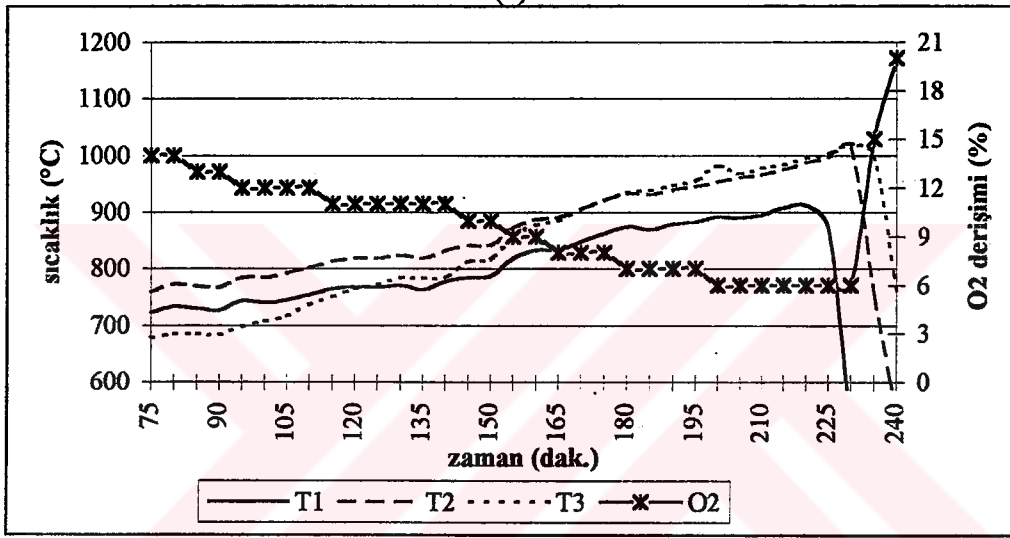
(c)

Şekil 4.2. Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yatakta CO yayılım profilleri (YM: Kuvars 0.6-1.0 mm).

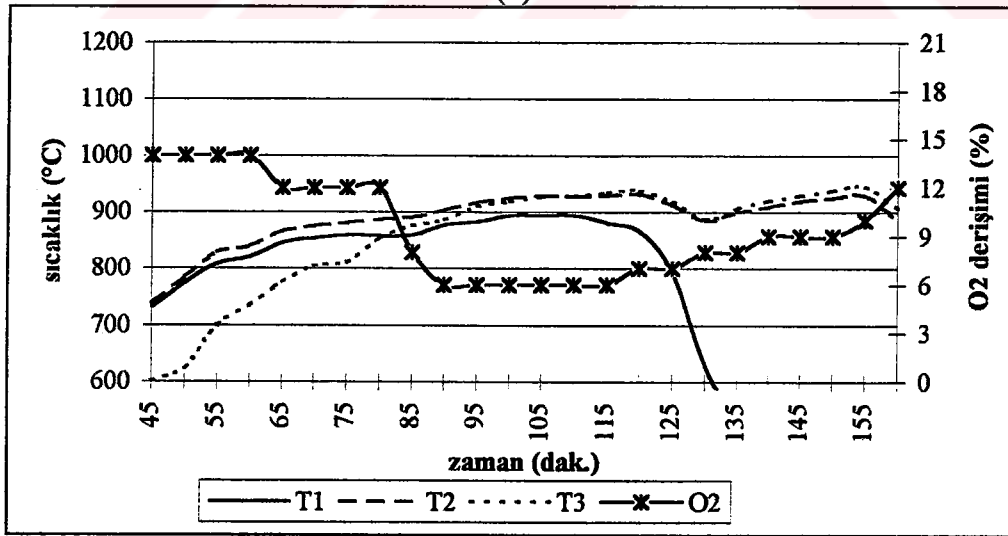
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.



(a)



(b)



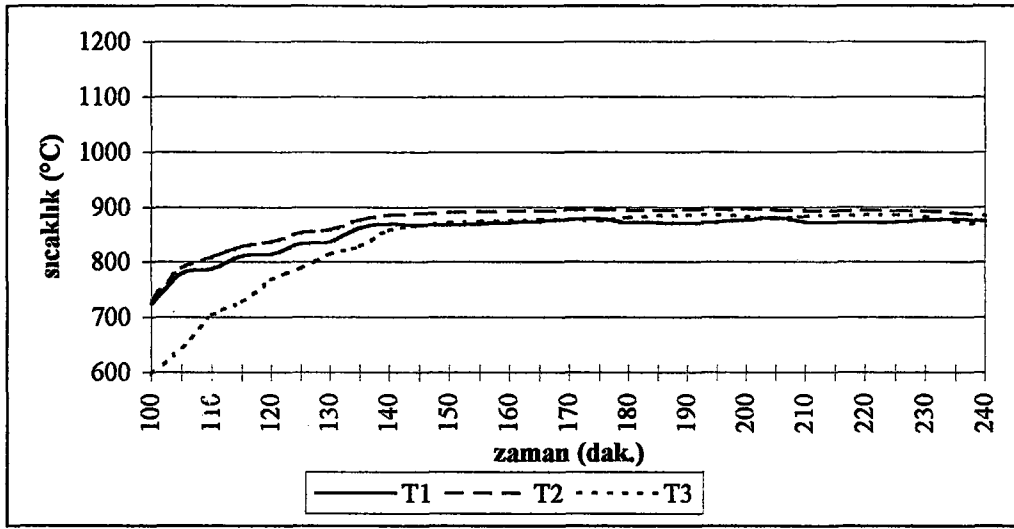
(c)

Şekil 4.3. Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yatakta O₂ derişim profilleri (YM: Kuvars 0.6-1.0 mm).
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.

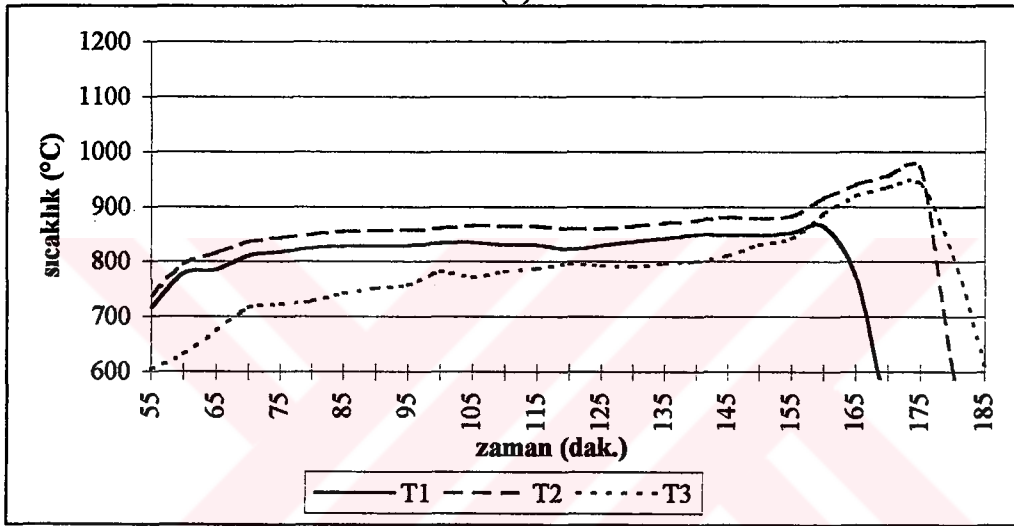
çıkarmak için kömür besleme debisinin artırılmasından ve ince kömür taneciklerinin aktif yatakta yanmasını tamamlamadan serbest bölgeye sürüklenmesinden kaynaklandığı sanılmaktadır. Bu şekillerde dikkati çeken noktalardan birisi de ayrışma belirtilerinin görülmeye başlaması ile birlikte CO derişiminin artmış olmasıdır. Şekil 4.2b ve Şekil 4.2c 'de bu durum göze çarpmaktadır.

Şekil 4.3 'de görüldüğü gibi, yanma sürecinin ilk aşamalarında yüksek olan O₂ derişimi, her üç kömür fraksiyonu için de sıcaklığın artışına paralel olarak düşmeye başlamışlardır. Bu düşüş özellikle 1.0-1.9 mm ve 1.9-2.7 mm'lik fraksiyonların yanma süreçlerinde oldukça belirgin olmuştur. Yatak sıcaklığı 850°C civarına ulaştığında O₂ derişimi ortalama %3 'e kadar düşmüş ve yanmaya son verinceye kadar bu civarda kalmıştır. 2.7-3.3 mm 'lik fraksiyonun yanma sürecinde ise O₂ derişiminde görülen düşme daha sınırlı kalmıştır. CO ve O₂ yayınımları arasında ters bir ilişki olduğu görülmektedir.

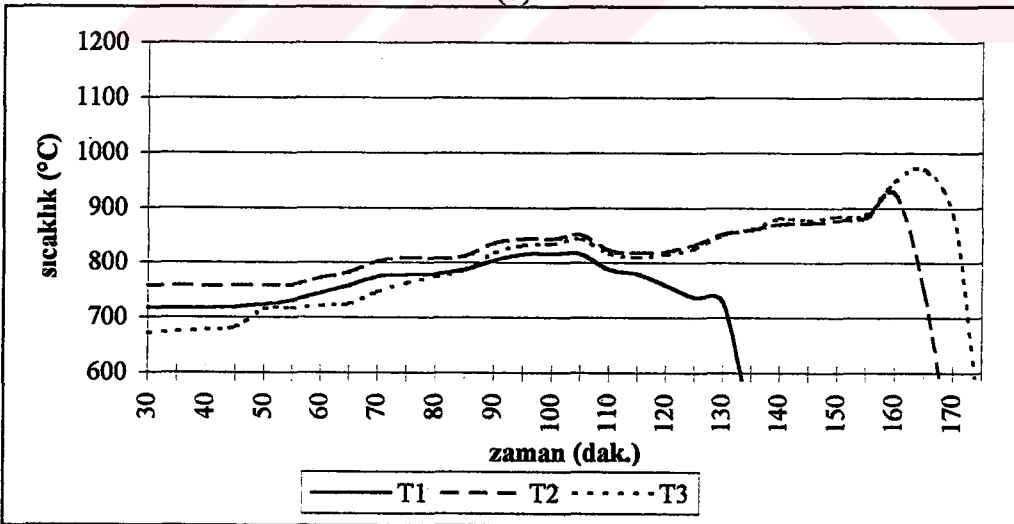
Yatak malzemesi boyutunun yanmaya etkisini görmek amacıyla yatak malzemesi tanecik boyutu 1.0-1.4 mm 'ye çıkarılarak ve Beypazarı linyiti kullanılarak bir seri deney yapılmıştır. Bu deneylerin sıcaklık profilleri Şekil 4.4 'de görülmektedir. Bu profiller Şekil 4.1 'deki sıcaklık profilleri ile kıyaslandığında, profiller arasında genelde bir uyumun söz konusu olduğu göze çarpmaktadır. Ancak iri kumun kullanıldığı akışkan yataklarda, kömürle yatak malzemesi arasındaki yoğunluk farkına ek olarak yatak malzemesi boyutunun büyümesi, aglomerasyon öncesinde ayrışmanın daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmasına neden olmuştur. Özellikle orta ve kaba linyit fraksiyonlarının yandığı akışkan yataklarda, Şekil 4.4b ve Şekil 4.4c, aglomerasyon öncesinde aktif yatak bölgesinde sıcaklık dağılımı iyice bozulmuştur. Aglomerasyon öncesindeki ayrışma sürecinde $\Delta T_1=600^\circ\text{C}$ 'a kadar çıkmıştır. Bu iki linyit fraksiyonu için aglomerasyon, değişik koşullara rağmen hemen hemen, aynı sıcaklıklarda başlamıştır. İkinci grup deney koşullarında, aktif yatak içinde dikey yönde sıcaklık gradiyentinin büyümesi ve aglomerasyon başlamadan önce bir ayrışma sürecinin yaşanması, iri yatak malzemesinin sistemin hidrodinamik davranımını olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymaktadır. Yatak malzemesinin boyutunun değişmesine karşın aglomerasyonun aynı sıcaklık mertebelerinde başlaması, olayın ortaya çıkıp gelişmesinde kömürün özelliklerinin ağırlıklı rol oynadığını göstermektedir.



(a)

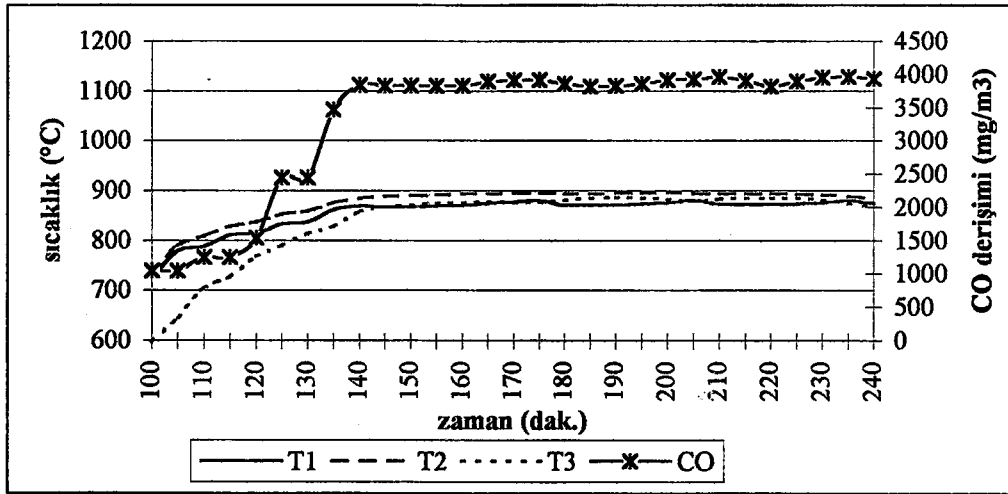


(b)

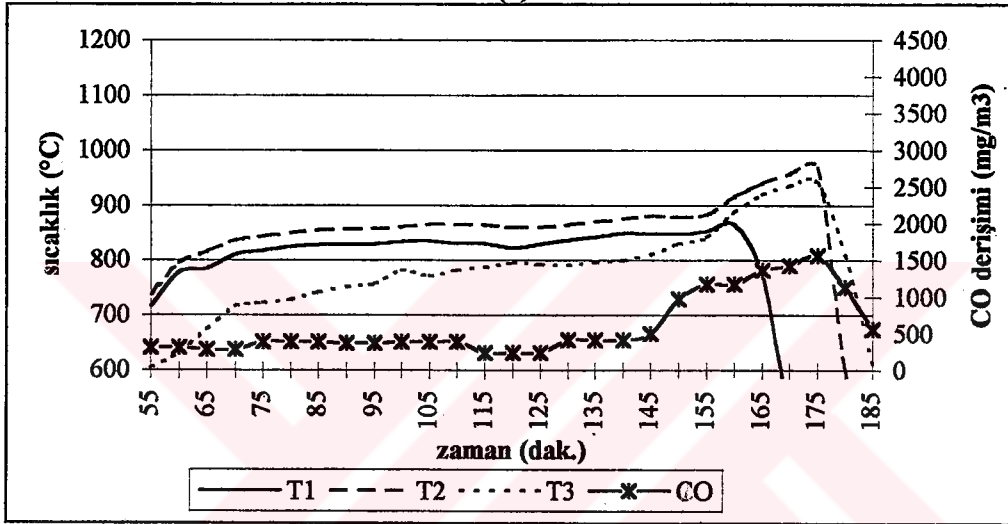


(c)

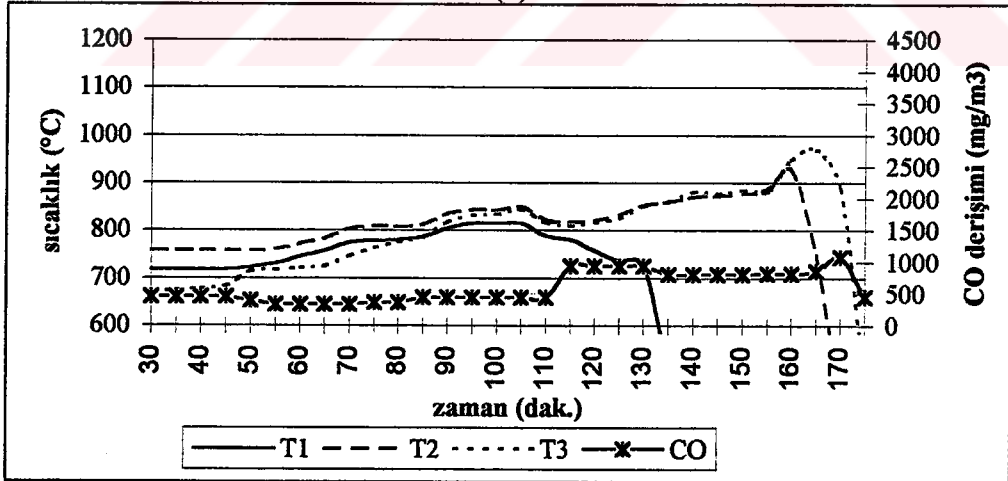
Şekil 4.4. Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yatakta eksenel yöndeki sıcaklık dağılımları (YM: Kuvars 1.0-1.4 mm).
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.



(a)

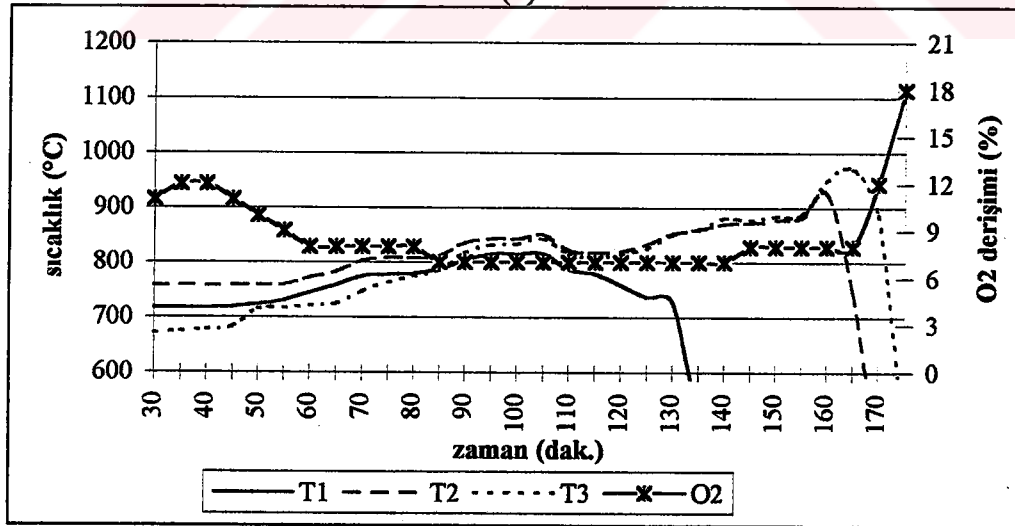
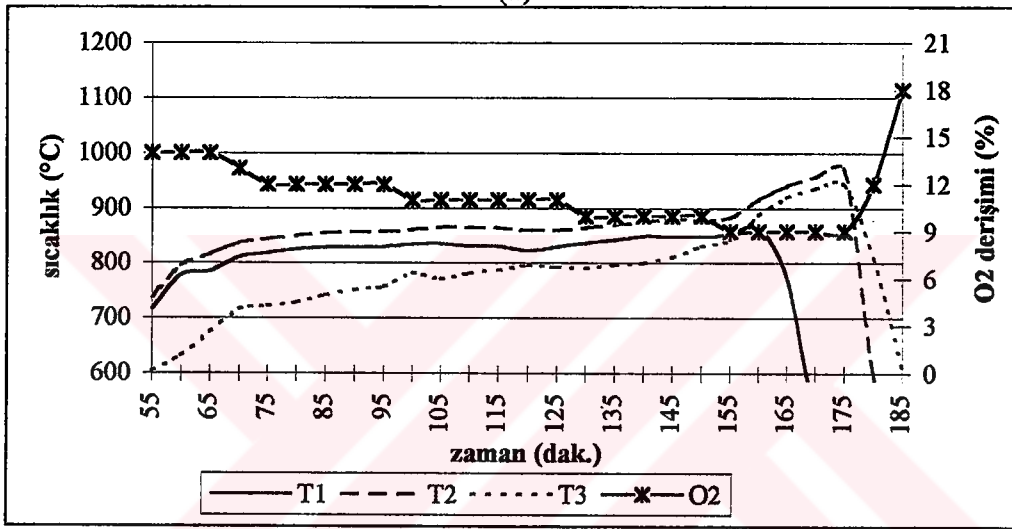
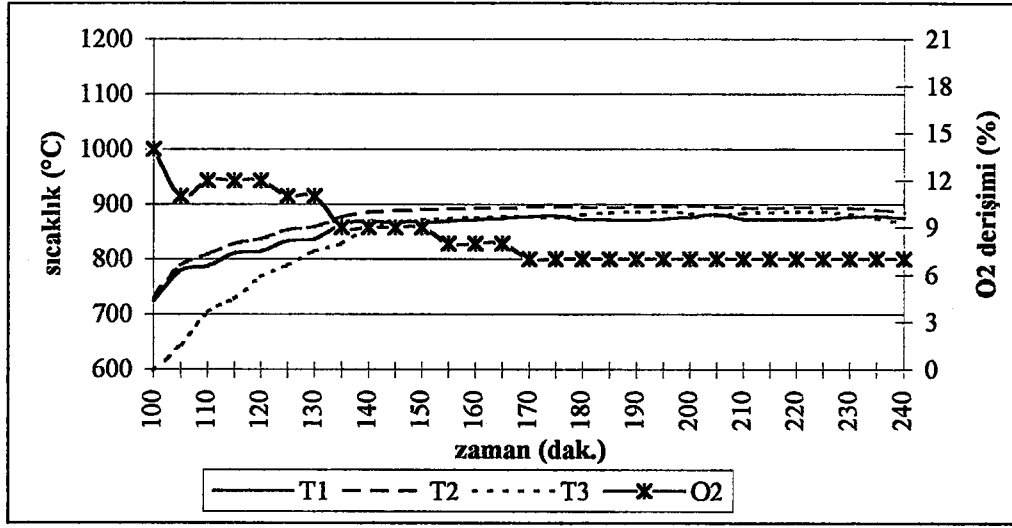


(b)



(c)

Şekil 4.5. Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yatakta CO yayılım profilleri (YM: Kuvars 1.0-1.4 mm).
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.



Şekil 4.6. Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yatakta O₂ derişim profilleri (YM: Kuvars 1.0-1.4 mm).

Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.

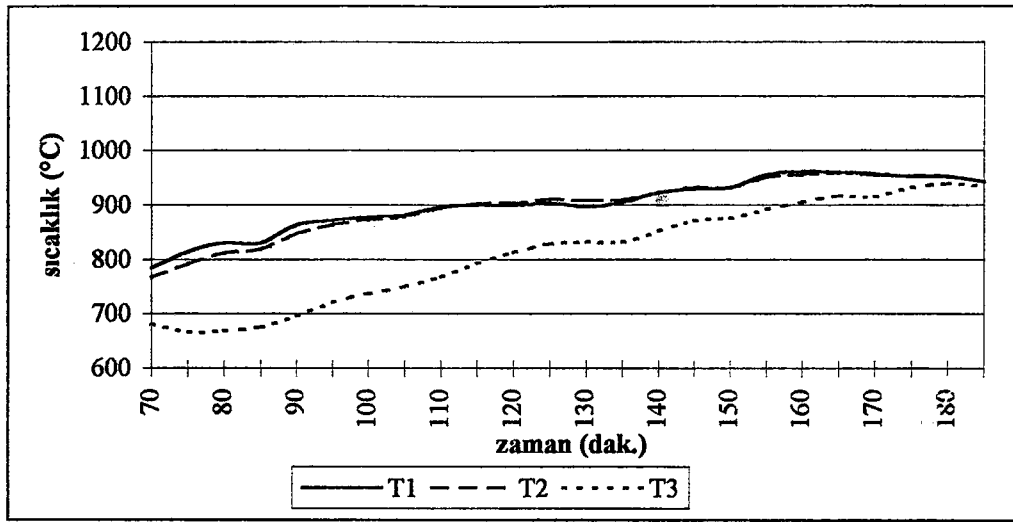
Bu deney koşullarında da, beklendiği gibi, serbest bölgede önemli ölçülerde yanmanın gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Özellikle ince linyit fraksiyonunun (1.0-1.9 mm) yanması sürecinde bu çok belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. İnce linyit fraksiyonunun yakıldığı akışkan yatakta yine herhangi bir ayrışma belirtisinin görülmediği dikkati çekmektedir. Bu deney koşullarında serbest bölgeye sürüklenen linyit miktarının görece daha yüksek olması ve aktif yatak bölgesinde daha az külün birikmesinden dolayı, daha önce irdelendiği gibi, yatak içindeki tekdüze yapı önemli ölçüde korunmuş, ayrışma ve aglomerasyon ortamı oluşamamıştır. Nitekim bu fraksiyonla sıcaklığı 895°C' in üzerine çıkarmak mümkün olmamıştır.

Bu deneylere ait karbonmonoksit ve oksijen profilleri, sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 'da verilmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.6 kıyaslandığında oksijen profillerinde genel olarak benzer bir davranım göze çarpmaktadır. Ancak iri kumla yürütülen deneylerde oksijen derişimi biraz daha yüksek ölçülmüştür. Ayrışma sürecince baca gazlarındaki oksijen derişiminde önemli bir değişikliğin olmaması, ayrışmaya rağmen kömürün üst bölgelerde aynı ölçeklerde yanmaya devam ettiğinin bir göstergesi olarak alınabilir. Aglomerasyonun başlaması ile birlikte oksijen derişiminde hızlı bir artış, karbonmonoksit derişiminde ise hızlı bir düşüş yaşanmaktadır. Bu aglomerasyonun yol açtığı gelişmelere uygun bir gelişmedir. Çünkü aglomerasyonun başlaması ile yanma hızla son bulmaktadır.

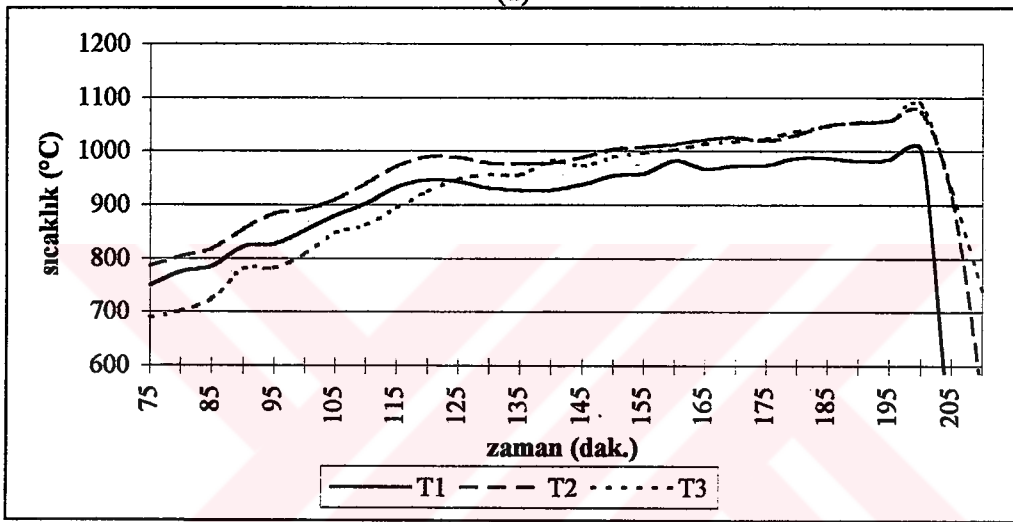
Karbonmonoksit derişimi, ince kumla yapılan deneylerde gözleendiği gibi, ince linyit fraksiyonu için yüksek, kaba fraksiyonlar için ise çok daha düşük olmuştur. Bu da daha önce de vurgulandığı gibi, yanmasını tamamlamadan serbest bölgeye sürüklenen linyit miktarı ile ilintilidir.

4.2. Kısırdere Linyitinin Akışkan Yatakta Yanma Sürecinin Özellikleri

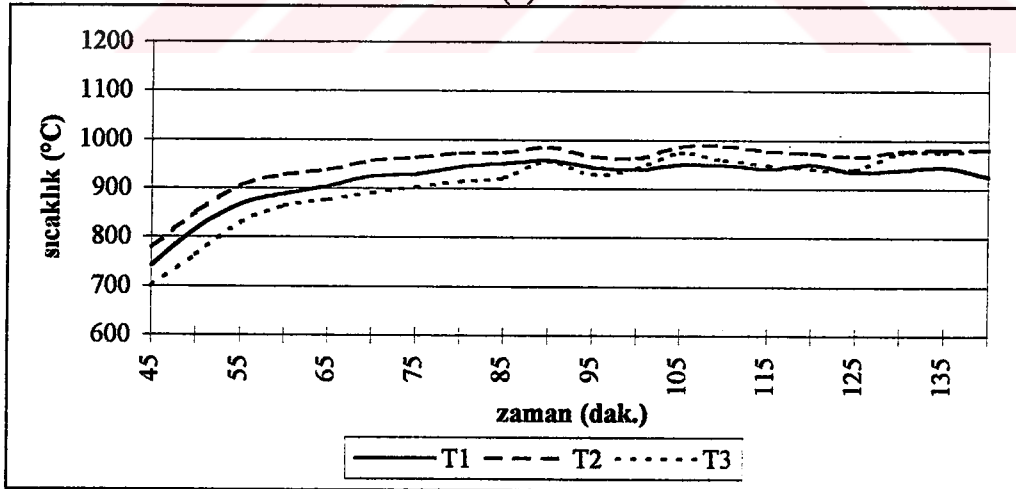
Kısırdere linyiti ile gerçekleştirilen yanma deneyleri, yatak malzemesi türünün yanma sürecine olan etkisini de gözlemlemek amacı ile Tablo 4.1 'de gösterildiği gibi iki grupta gerçekleştirilmiştir. Birinci grupta yatak malzemesi olarak 0.6-1.0 mm 'lik kuvars kumu, ikinci grupta ise 0.6-1.0 mm 'lik dolomit kullanılmıştır. Bütün deneylerde yine 1.0-1.9 mm, 1.9-2.7 mm ve 2.7-3.3 mm 'lik linyit fraksiyonları kullanılmıştır.



(a)



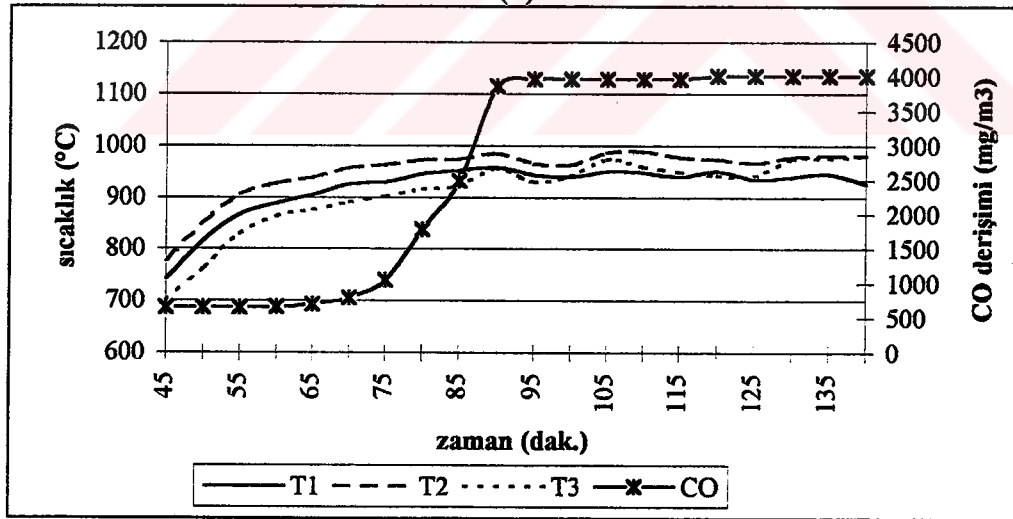
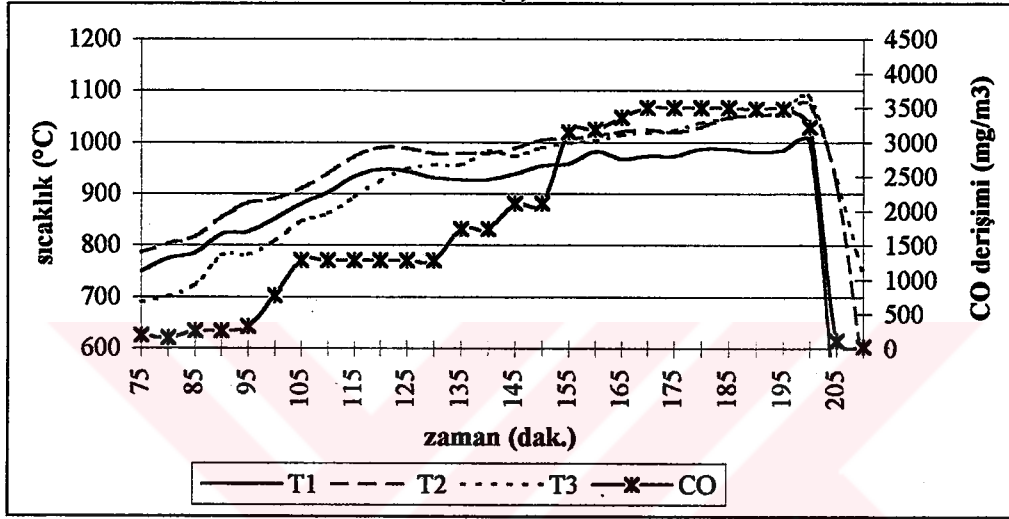
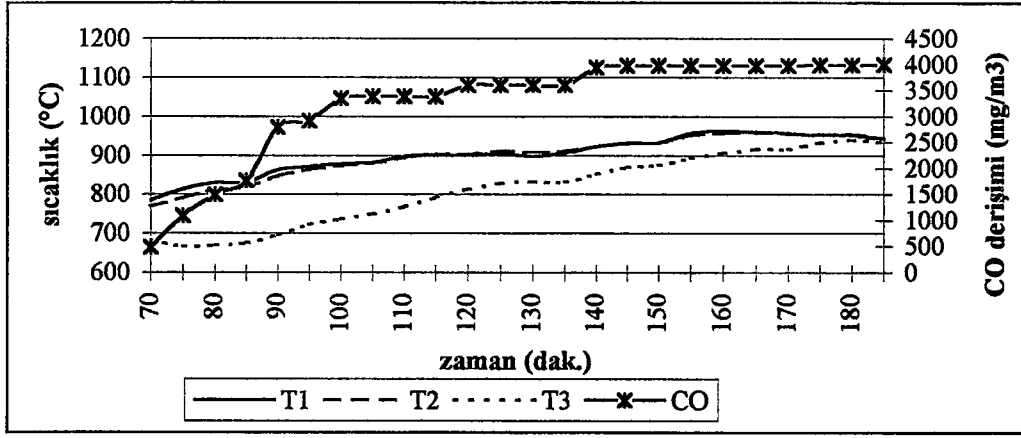
(b)



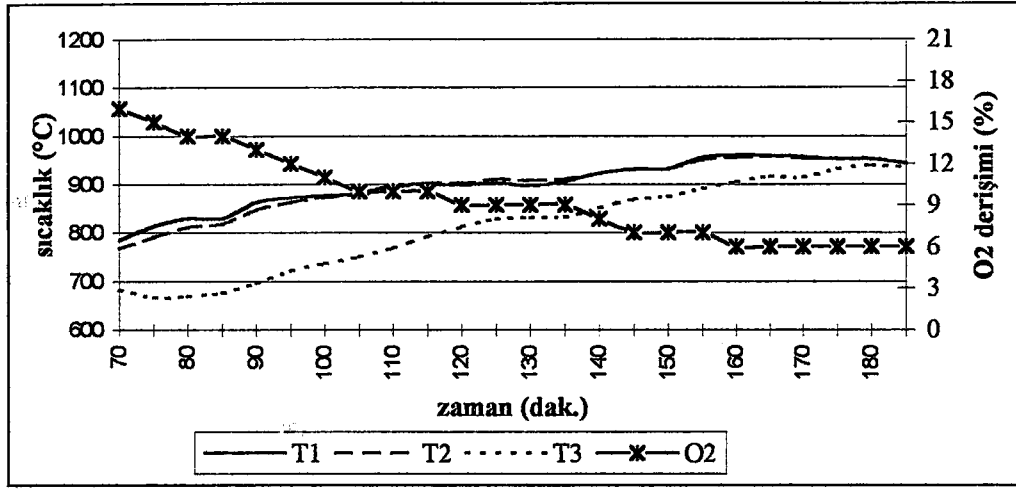
(c)

Şekil 4.7. Kısırakdere linyitinin yandığı akışkan yatakta aksenal yöndeki sıcaklık dağılımları (YM: Kuvars 0.6-1.0 mm).

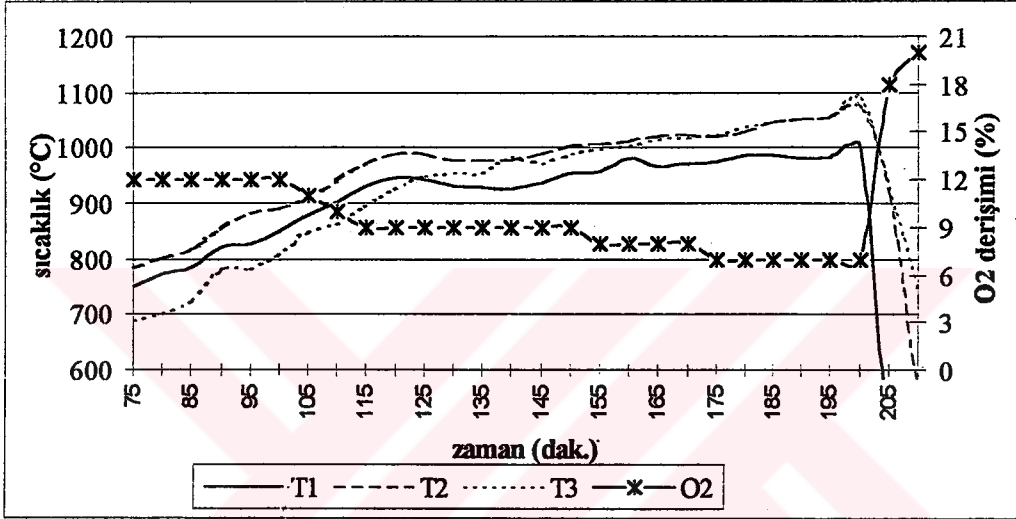
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.



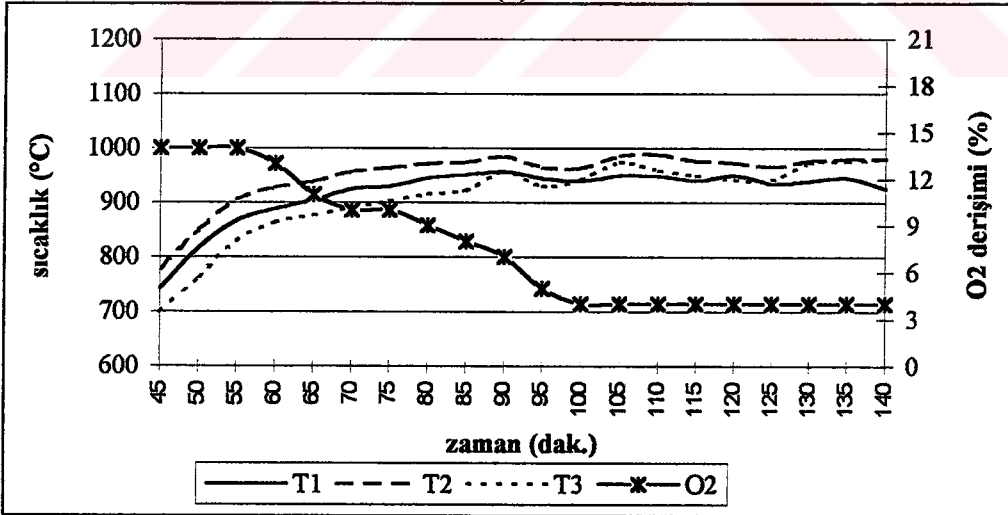
Şekil 4.8. Kısrakdere linyitinin yandığı akışkan yataкта CO yayılım profilleri (YM: Kuvars 0.6-1.0 mm).
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.9. Kısıkdere linyitinin yandığı akışkan yatakta O₂ derişim profilleri (YM: Kuvvars 0.6-1.0 mm).

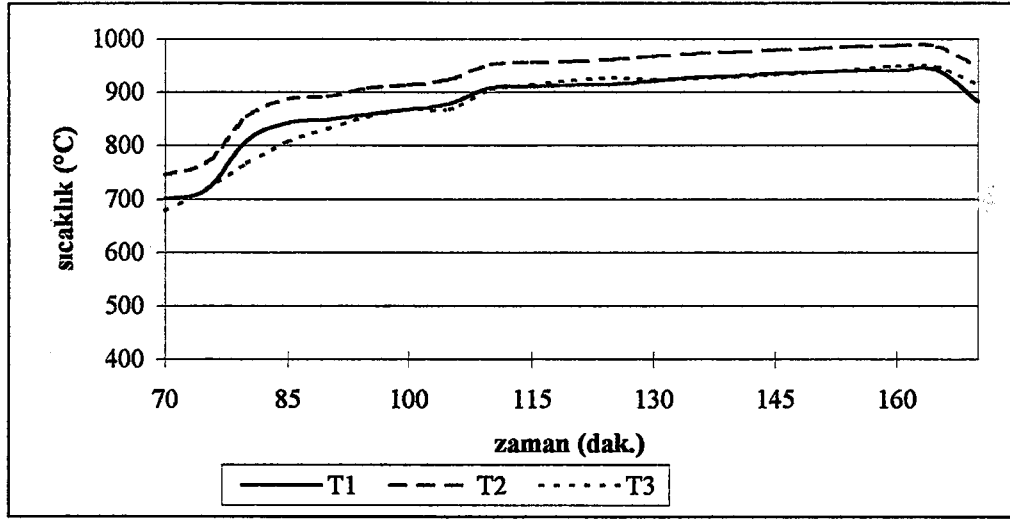
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.

Kumla yapılan deneylere ait yanma süreçlerinde akışkan yatakta, eksenel yönde ölçülen sıcaklık profilleri Şekil 4.7 'de verilmiştir. Şekil 'de görüldüğü gibi aktif yatak bölgesinde homojen bir sıcaklık dağılımı gerçekleşmiştir (ΔT_1 küçük). Özellikle ince linyit fraksiyonunun yandığı yatakta, aktif yatak bölgesindeki sıcaklık gradyeni iyice küçülmüştür. Serbest bölgede ise sıcaklık, operasyonun ilk aşamalarında hayli düşük bir seviyede seyretmiştir. Ancak, bu bölgedeki sıcaklığın daha sonraki aşamalarda sürekli bir şekilde artarak aktif yatak bölgesindeki sıcaklık seviyelerine yaklaştığı görülmektedir. Bu sonuçların, Şekil 4.1 'de verilen Beypazarı linyitinin sonuçlarından farklılıklar gösterdiği dikkatleri çekmektedir. Kısırkdere linyiti için aktif yatakla serbest bölge sıcaklıkları arasında beliren fark, zamanla azalmasına karşın, Beypazarı linyitleri için gözlenen farktan daha büyük olmuştur. Bu durum, iki kömürün özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Daha önce de belirttiği gibi yanma deneylerinin gerçekleştirilmesi sırasında Beypazarı linyitlerinin aynı koşullarda diğer kömürlerden daha büyük oranlarda sürüklendiği gözlenmiştir. Soğuk akışkan yatakta aynı koşullarda yapılan sürüklenme deneyleri bu gözlemi doğrulamıştır (Bak. Bölüm 4.7).

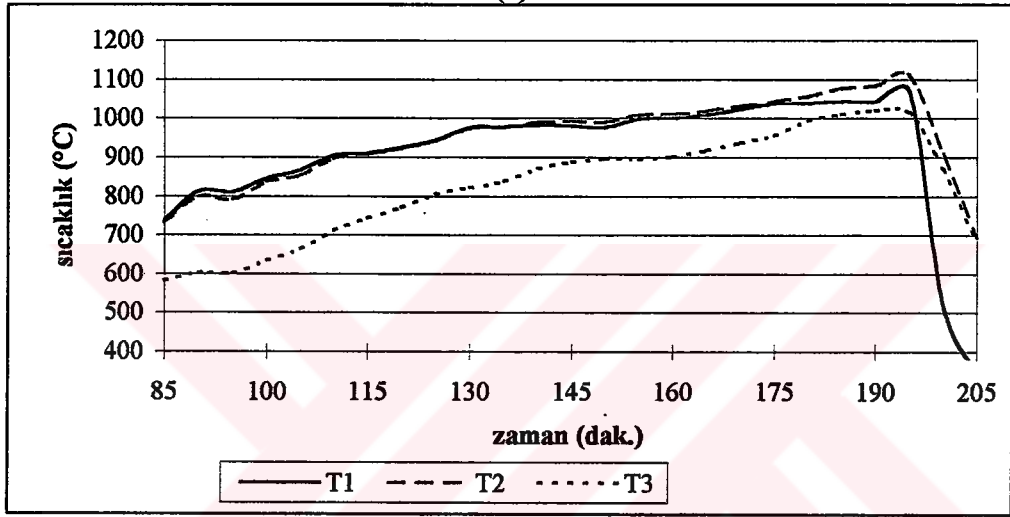
Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 'da sırasıyla aynı deneylerde baca gazında ölçülen karbonmonoksit ve oksijen derişimleri görülmektedir. Karbonmonoksit ve oksijen derişim profilleri incelendiğinde sıcaklık yükselmesine paralel olarak oksijen derişiminin düştüğü ve karbonmonoksit derişiminin de yükseldiği görülmektedir. 950°C 'in üzerinde karbonmonoksit derişimleri her üç fraksiyon için de ortalama 4000 mg/m³ değere ulaşmıştır.

Kısırkdere linyitinin yandığı akışkan yataklarda 1000°C civarına kadar herhangi bir ayrışma veya aglomerasyon belirtisi ortaya çıkmadan kararlı bir yanma sürdürülmüştür. Sıcaklık 1060°C civarına ulaştığında aglomerasyon başlamıştır.

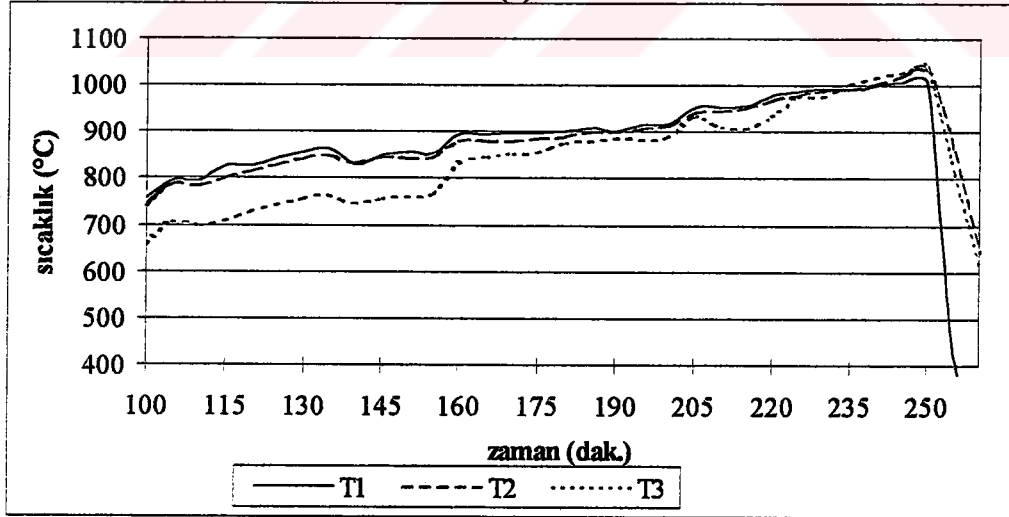
Dolomit ile yapılan deneylere ait yanma süreçlerinin sıcaklık, karbonmonoksit ve oksijen derişim profilleri sırasıyla Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 'de verilmiştir. Şekil 4.10 'da görüldüğü dolomit ile yapılan çalışmalarda aktif yatak içinde oldukça tekdüze bir sıcaklık dağılımı meydana gelmiştir. Yine sıcaklık profillerinden anlaşıldığı üzere aglomerasyonla biten deneylerde aglomerasyon öncesinde herhangi bir ayrışma görülmemiştir. Bunun nedeni yukarıda belirtilmiştir. Dolomit ile gerçekleştirilen



(a)



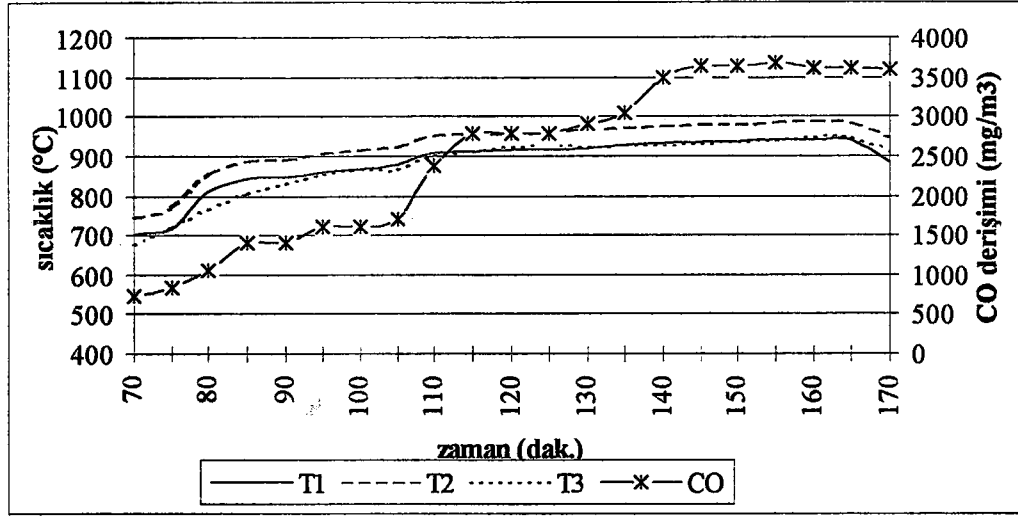
(b)



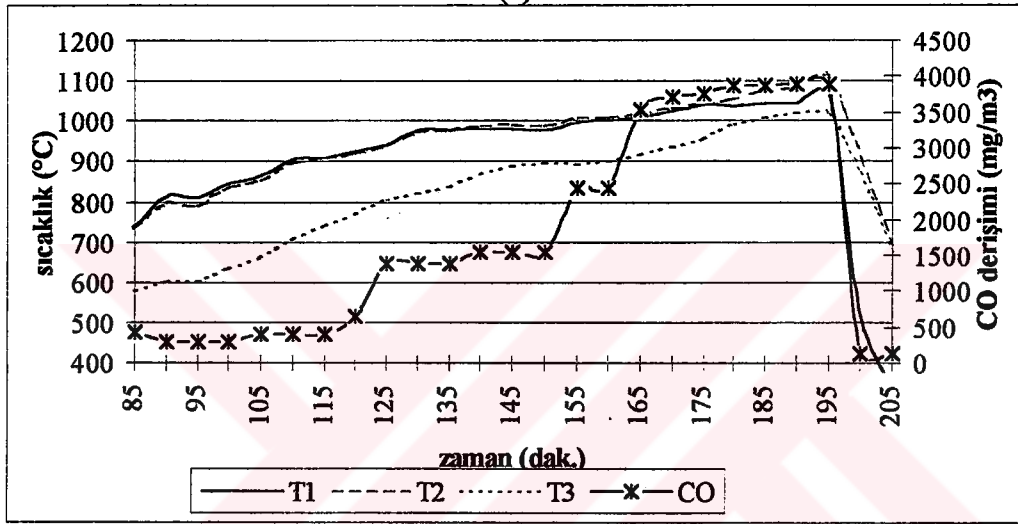
(c)

Şekil 4.10. Kısırakdere linyitinin yandığı akışkan yatakta eksenel yöndeki sıcaklık dağılımları (YM: Dolomit 0.6-1.0 mm).

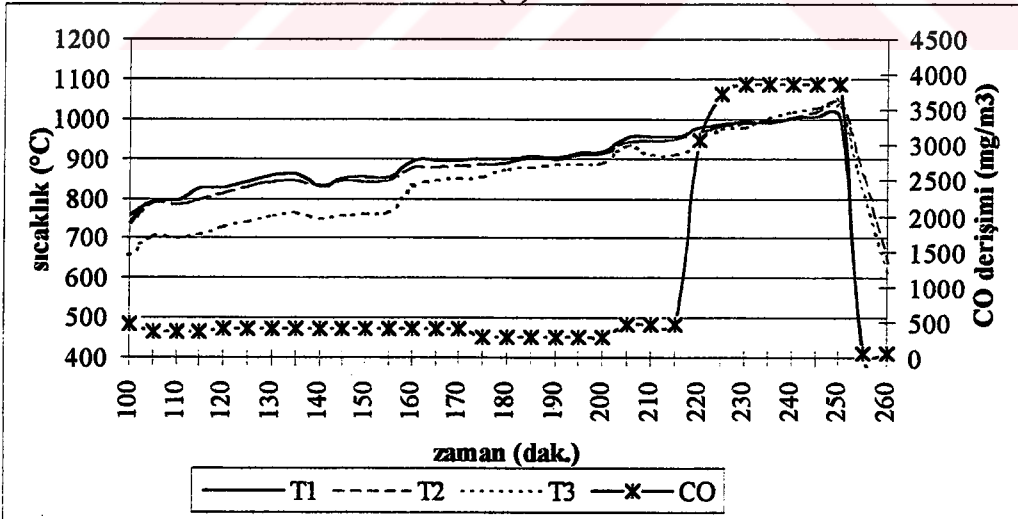
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.



(a)



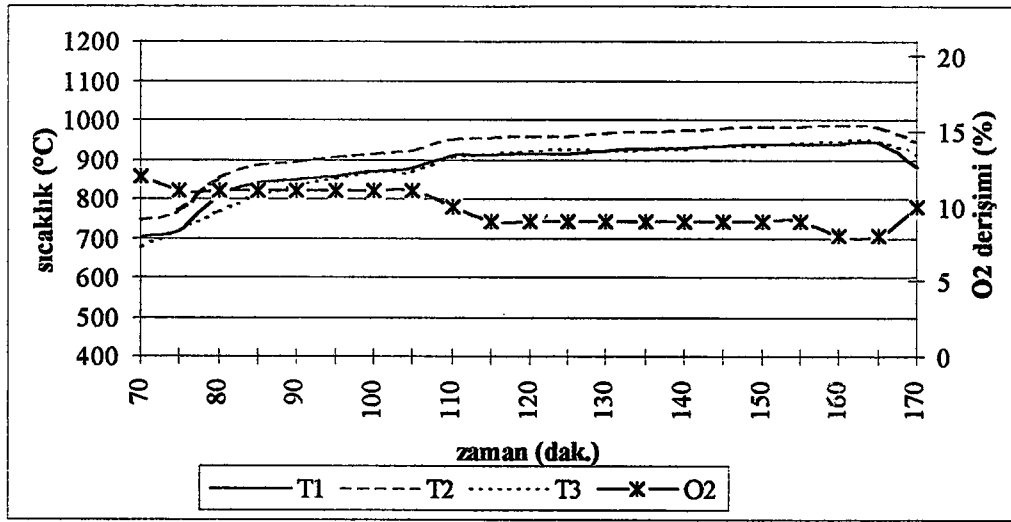
(b)



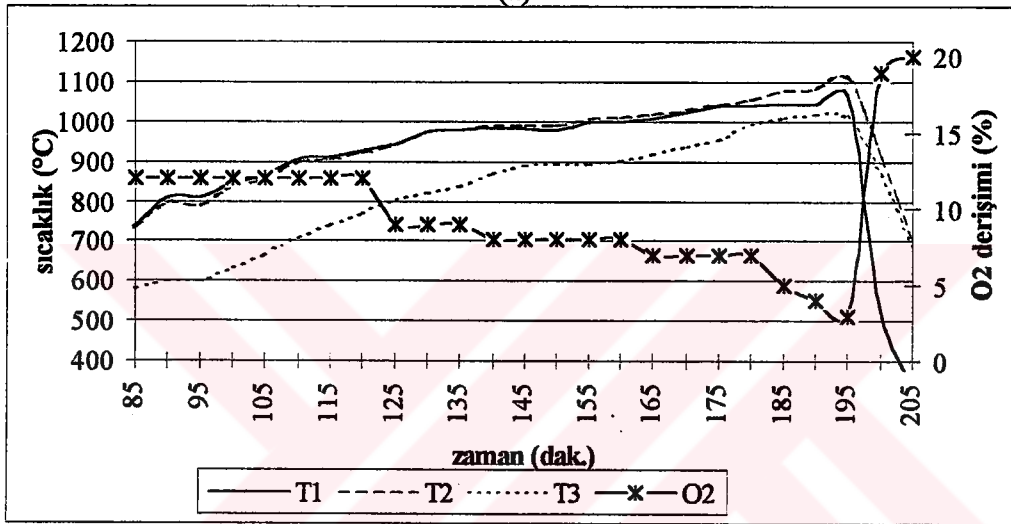
(c)

Şekil 4.11. Kısırkdere linyitinin yandığı akışkan yatakta CO yayılım profilleri (YM: Dolomit 0.6-1.0 mm).

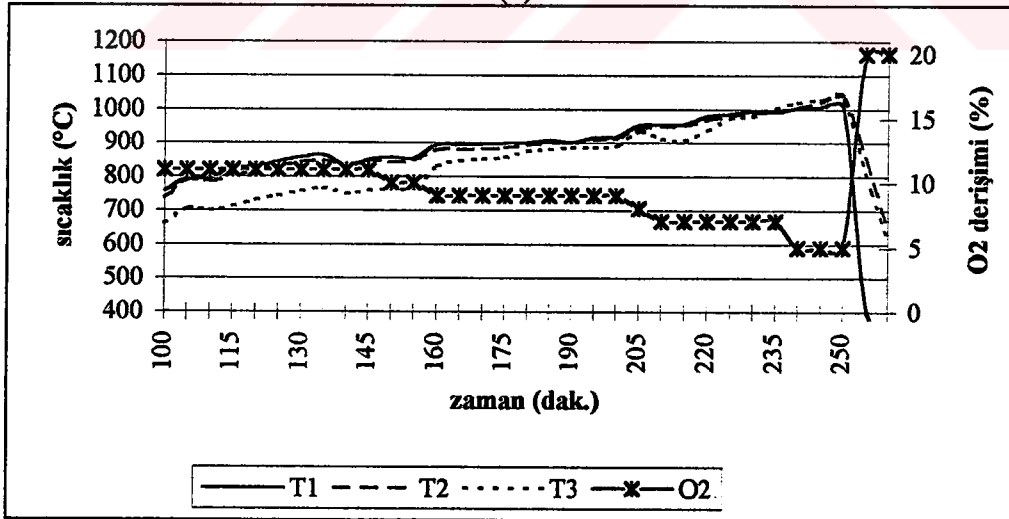
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.12. Kısırkdere linyitinin yandığı akışkan yatakta O₂ derişim profilleri (YM: Dolomit 0.6-1.0 mm).
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.

yanma süreçlerinde 1000°C civarında kararlı yanma sürdürülmüştür. Ancak bu sıcaklığın üstünde aglomerasyon riski başlamaktadır. Bu deney koşullarında 1080°C civarında aglomerasyon başlamıştır.

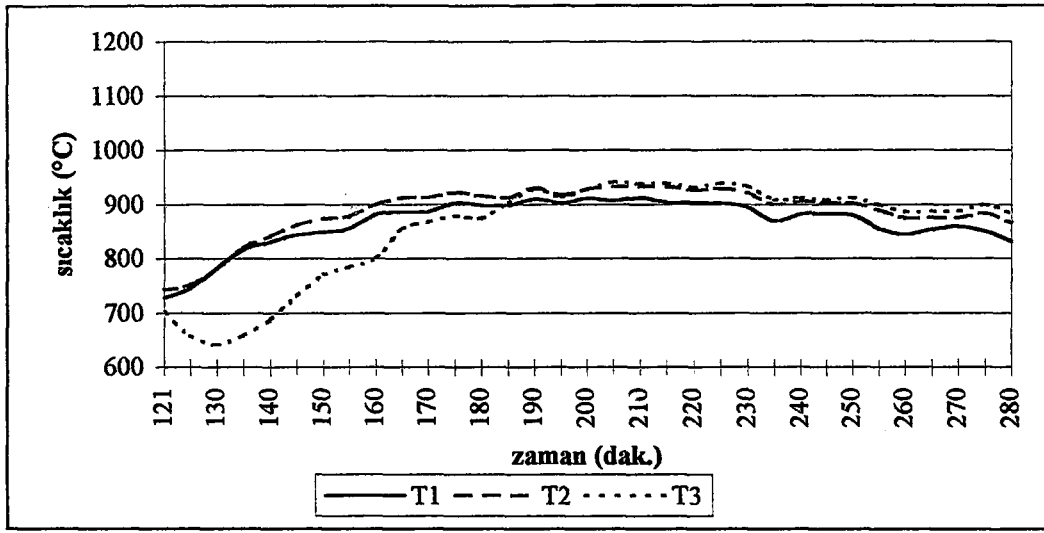
Karbonmonoksit ve oksijen derişim profillerinde ise kum ile gerçekleştirilen yanma süreçlerinin davranımına benzer bir davranım gözlenmektedir.

4.3. Tunçbilek Linyitinin Akışkan Yatakta Yanma Sürecinin Özellikleri

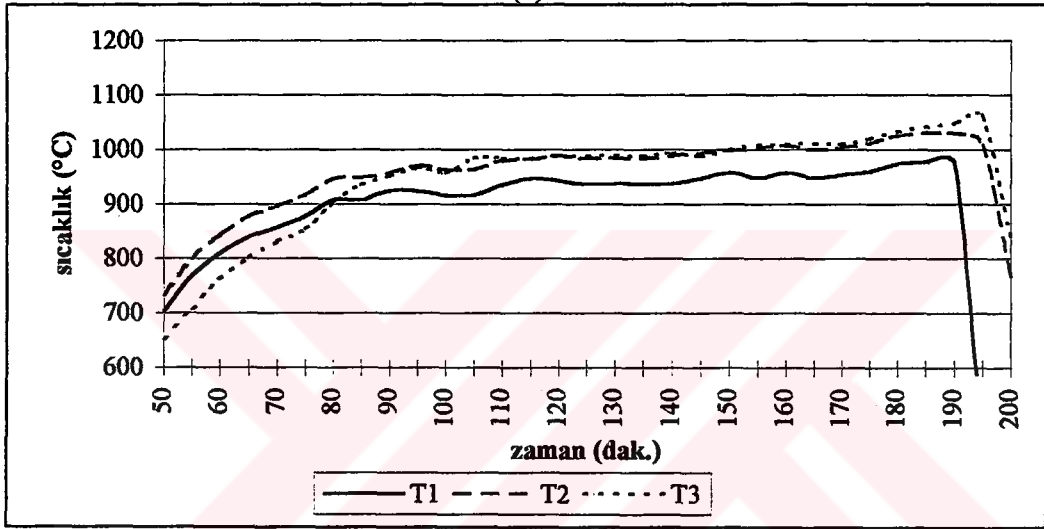
Tunçbilek linyiti ile yapılan deneylerin sıcaklık dağılımları, karbonmonoksit ve oksijen derişim profilleri sırasıyla Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 'de verilmiştir. Bu deneylerde de yatak malzemesi olarak 0.6-1.0 mm 'lik kum kullanılmıştır. Şekil 4.13 'deki sıcaklık profilleri incelendiğinde diğer kömürlerde de gözleendiği gibi, başlangıçta aktif yatakla serbest bölge sıcaklıkları arasında serbest bölge aleyhine büyük bir fark ortaya çıkmış, ancak bu daha sonraki aşamalarda oldukça küçülmüştür. Bu durum kısmen külün birikmesi sonucu, aktif yatak yüksekliğinin artması, kısmen de yanmanın durağan bir hal almasından kaynaklanmaktadır.

Bu linyitle bu çalışmanın koşullarında, 940°C civarında kararlı bir yanma sürdürülebilmektedir. Bu sıcaklığın üstünde ise ayrışma ve aglomerasyon eğilimi ortaya çıkabilmektedir. Nitekim, 2.7-3.3 mm fraksiyonu ile yürütülen deneylerde, yatak içi sıcaklıklar 980°C 'a yaklaştığında, ayrışma ve aglomerasyon başlamıştır. Şekil 4.13c 'de görüldüğü gibi, bu deney sırasında aglomerasyon başlamadan yaklaşık 20 dakikalık önce, $h=50$ mm 'deki T_1 sıcaklığı yavaş ancak sürekli bir şekilde düşmeye başlamıştır. Buna karşın yatağın üst bölgelerinde sıcaklık yükselmeye devam etmiştir. 1.9-2.7 mm 'lik fraksiyonun yanma sürecinde ise aglomerasyon 1020°C civarında başlamıştır. Ancak aglomerasyon öncesinde net bir ayrışma sürecinden söz etmek mümkün değildir.

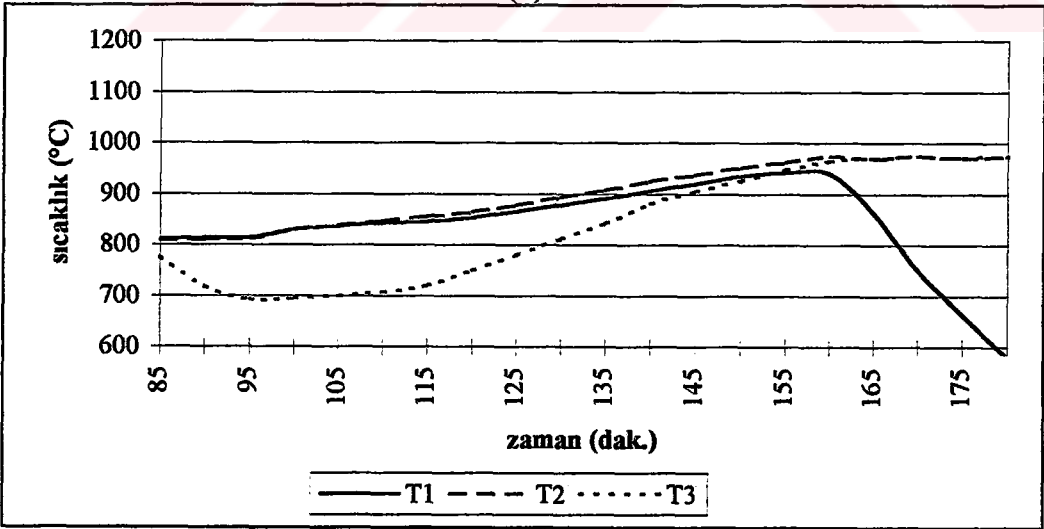
Şekil 4.15 'den görüldüğü gibi, yanma gazlarındaki oksijen derişimi, yine sıcaklığın yükselişine paralel olarak bir düşme göstermiş ve 800-900°C 'dan sonra nispeten kararlı bir seviyede kalmıştır. Yanmanın kararlı hale ulaşmadığı ilk aşamalarda %14-16 civarında olan oksijen derişimi, bu sıcaklıklara ulaşıldıktan sonra % 4-7 civarında dalgalanmıştır.



(a)



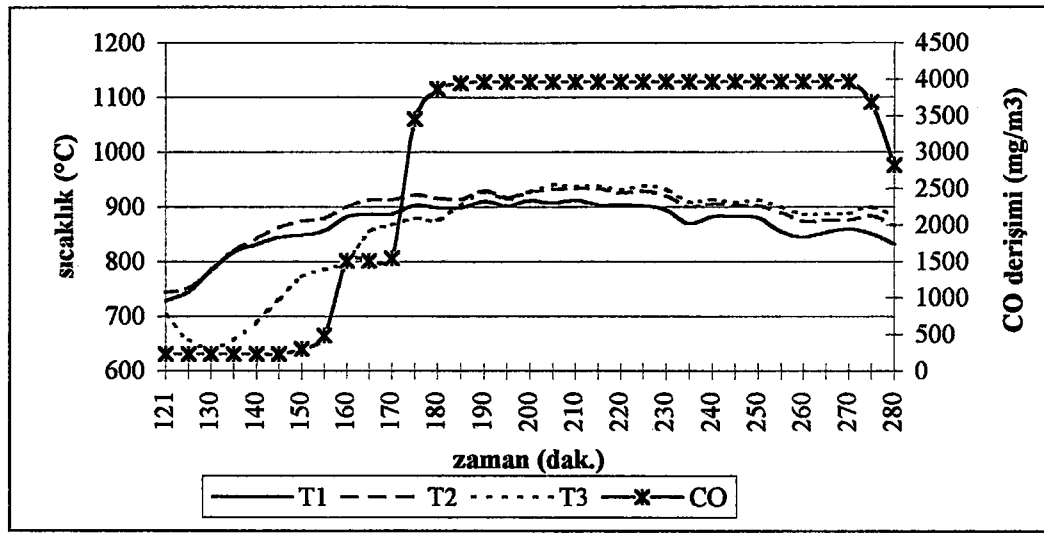
(b)



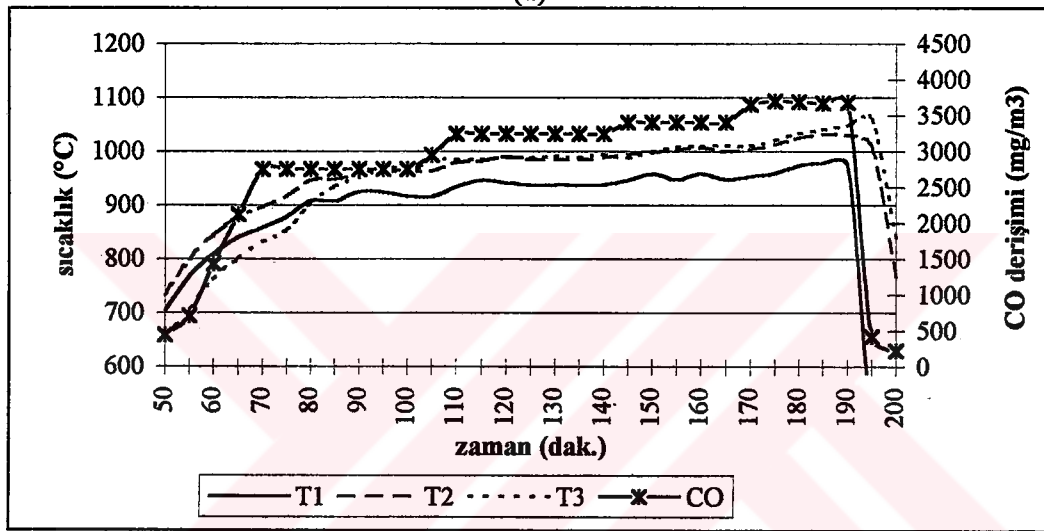
(c)

Şekil 4.13. Tunçbilek linyitinin yandığı akışkan yatakta eksenel yöndeki sıcaklık dağılımları (YM: Kuvars 0.6-1.0 mm).

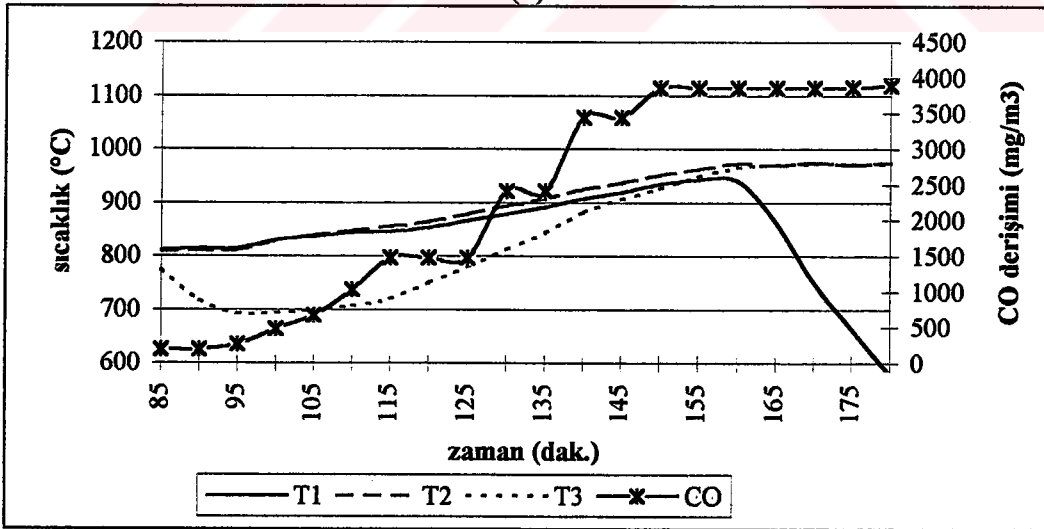
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.



(a)



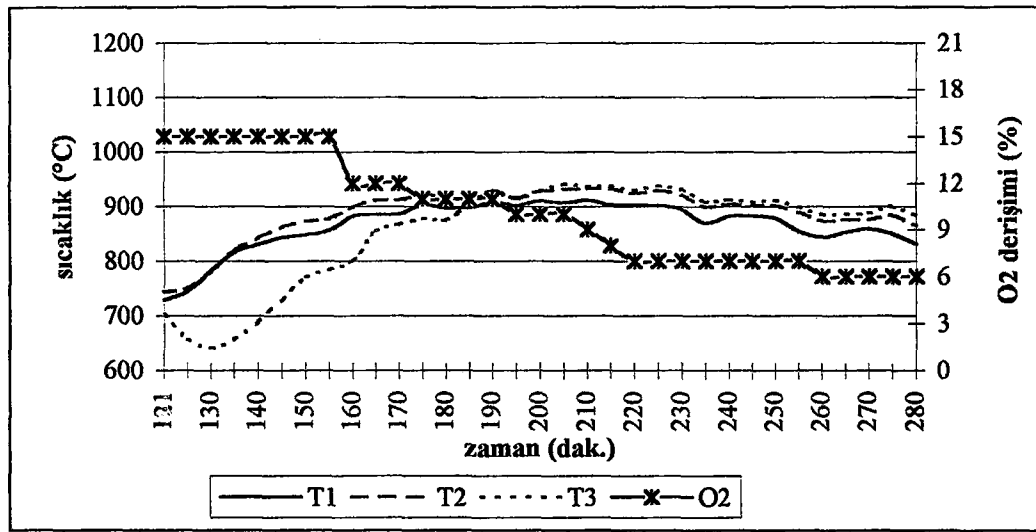
(b)



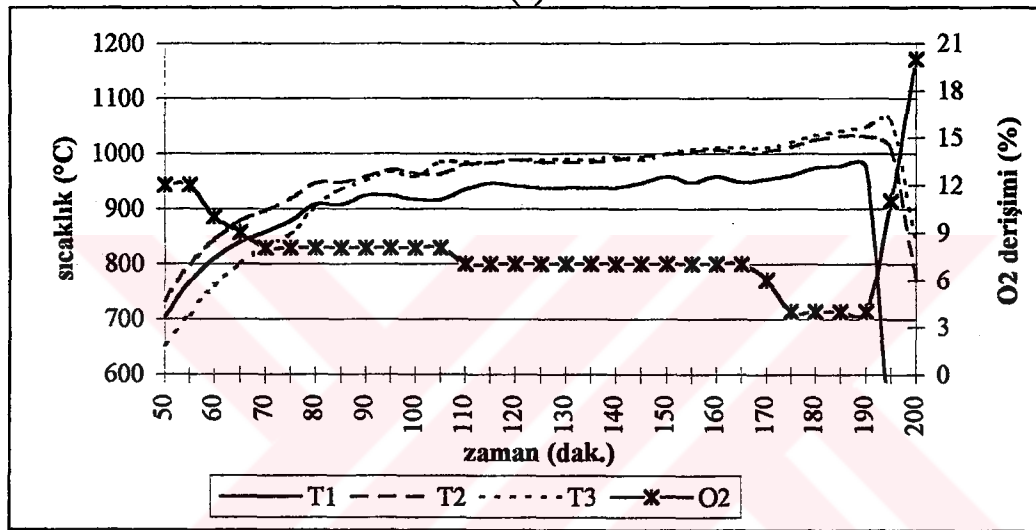
(c)

Şekil 4.14. Tunçbilek linyitinin yandığı akışkan yatakta CO yayılım profilleri (YM: Kuvars 0.6-1.0 mm).

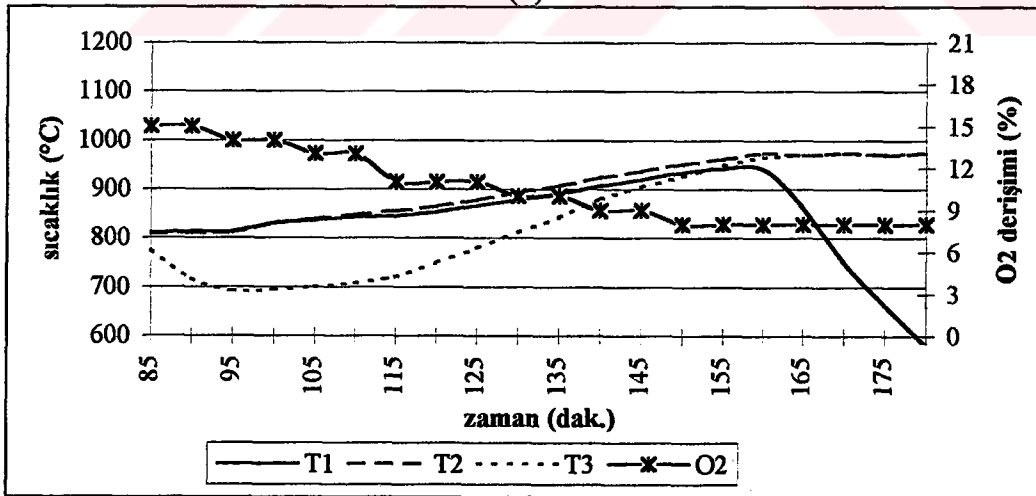
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.15. Tunçbilek linyitinin yandığı akışkan yataкта O₂ derişim profilleri (YM: Kuvars 0.6-1.0 mm).

Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.

Karbonmonoksit derişim profillerinde ise diğ er linyitler için gözlenen davranıma benzer bir davranım görülmektedir. Bunun nedenleri daha önceki bölümlerde tartışılmıştır.

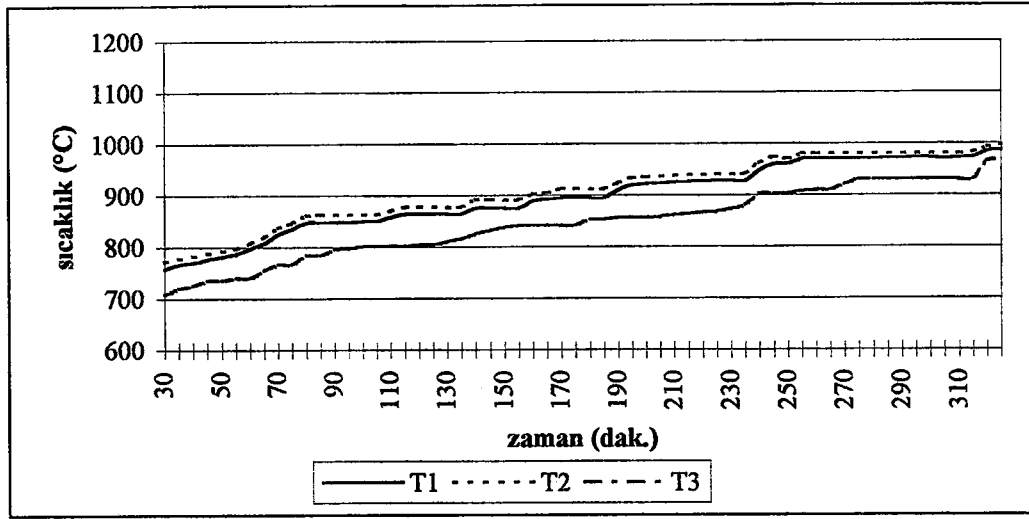
4.4.  an Linyitinin Akışkan Yatakta Yanma Sürecinin  zellikleri

 an linyiti ile gerçekleştirilen yanma süreçlerine ait sıcaklık ile yanma gazlarındaki karbonmonoksit ve oksijen derişim profilleri sırası ile şekil 4.16, şekil 4.17 ve şekil 4.18 'de verilmiştir. şekil 4.16 gözden geçirildiğinde aktif yatak içinde sıcaklık gradyeninin oldukça düşük olduğu ve yatak içi sıcaklıkların genellikle serbest bölge sıcaklıklarından daha yüksek kaldığı görülmektedir. Bu linyitin yanma sürecinin en önemli özelliklerinden birisi aglomerasyona karşı olan eğiliminin nispeten daha düşük olmasıdır. 1.9-2.7 mm ve 2.7-3.3 mm 'lik fraksiyonların yakıldığı yatakta aglomesayon sırası ile 1050 C ve 1080 C civarlarında baş göstermiştir. Ancak aglomerasyon öncesinde herhangi bir net ayırşma belirtisi görülmemiştir. Bu da akışkanlaşma hızının yüksek ve linyitin k l içeriğinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

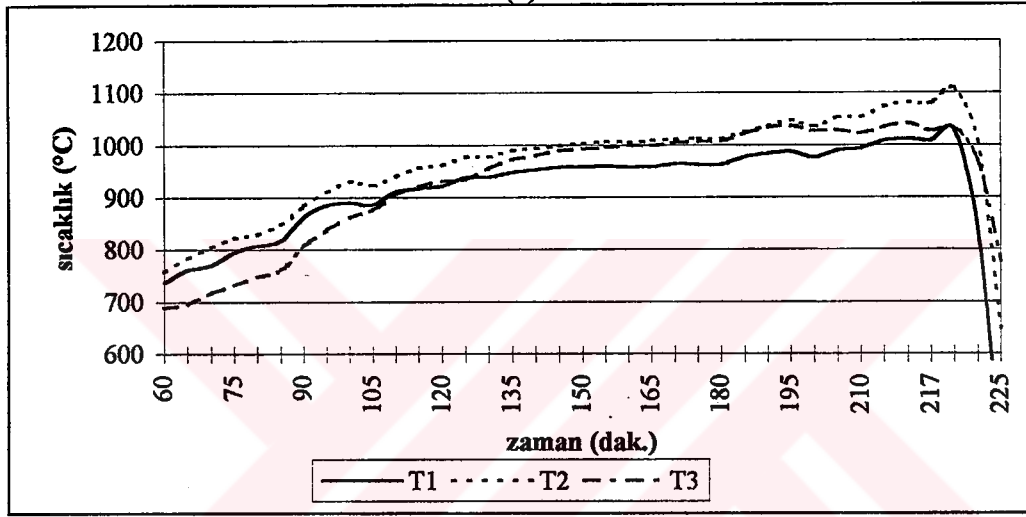
 an linyitinin gerek oksijen ve gerekse karbonmonoksit yayınımları diğ er linyitlere benzer bir seyir göstermektedir.

4.5. Yatağan Linyitinin Akışkan Yatakta Yanma Sürecinin  zellikleri

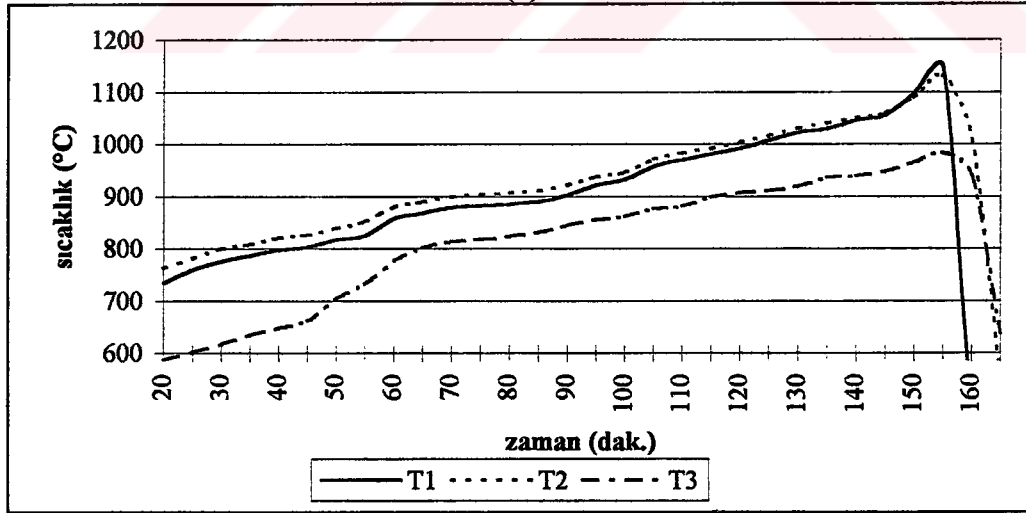
Yatağan linyiti ile gerçekleştirilen yanma deneylerinde sıcaklık dağılımları, karbonmonoksit ve oksijen derişimleri için elde edilen sonuçlar sırasıyla şekil 4.19, şekil 4.20 ve şekil 4.21 'de gösterilmiştir. Deneyler I. grup deney koşullarında yürütülmüştür. Bu linyitin yakıldığı akışkan yataklarda sıcaklık dağılımları (şekil 4.19),  an linyitininkilerine çok benzemektedir. Diğ er kömürlerle (Tunçbilek, Kısırakdere ve özellikle Beypazarı linyitleri) kıyaslandığında, aktif yatak sıcaklıklarının serbest bölge sıcaklıklarından genellikle daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır.  an linyitine benzer şekilde, bu linyitin yanması sırasında da aglomerasyon öncesinde ayırşma ya hiç görülmemekte veya çok zayıf bir şekilde belirmektedir. 2.7-3.3 mm 'lik kaba fraksiyonun yakıldığı akışkan yatakta 1040 C civarında aglomerasyonun başladığı görülmüştür. 1.0-1.9 mm ve 1.9-2.7 mm 'lik fraksiyonlarla ulaşılan en



(a)



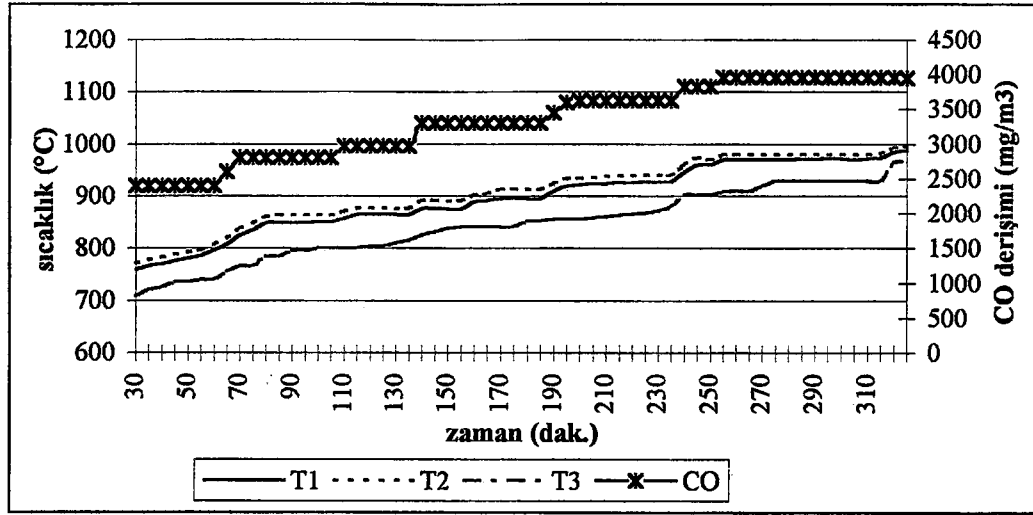
(b)



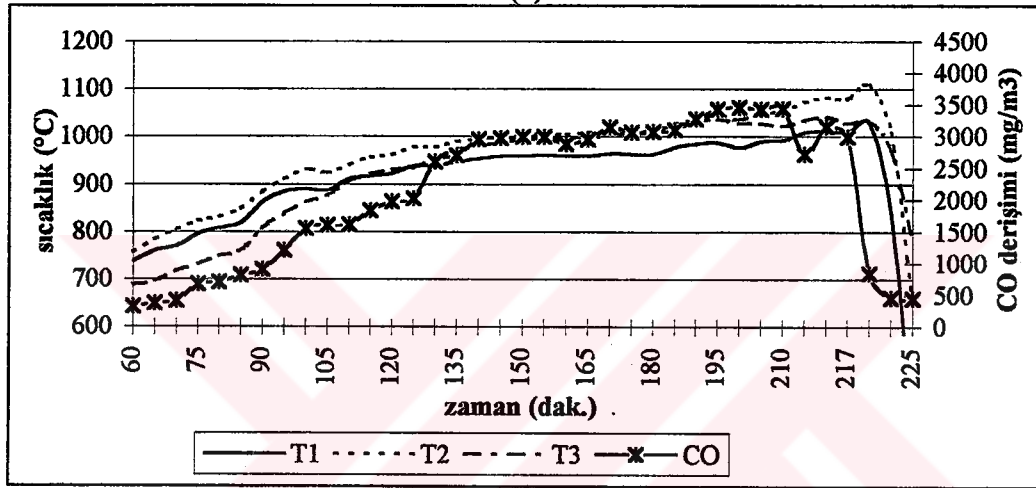
(c)

Şekil 4.16. Çan linyitinin yandığı akışkan yataкта aksenal yöndeki sıcaklık dağılımları (YM: Kuvars 0.6-1.0 mm).

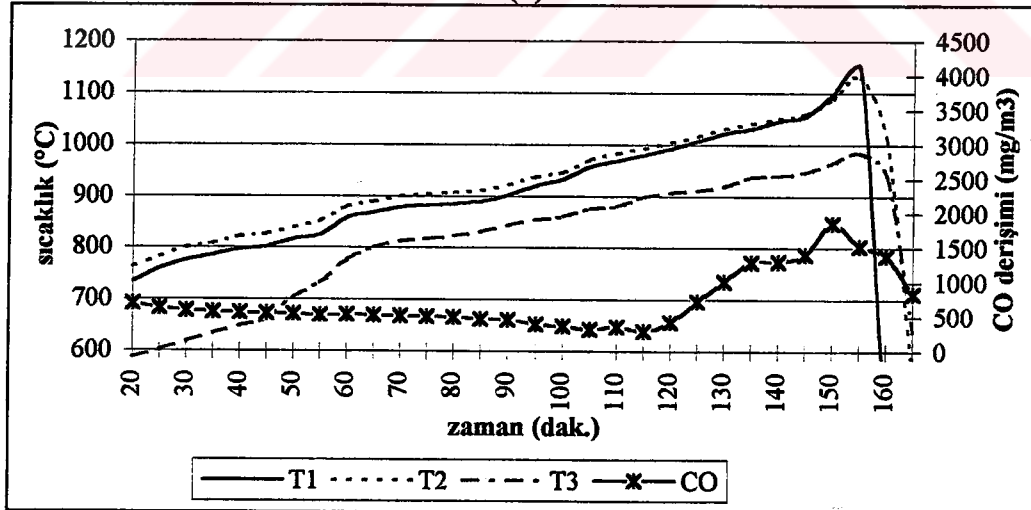
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.



(a)



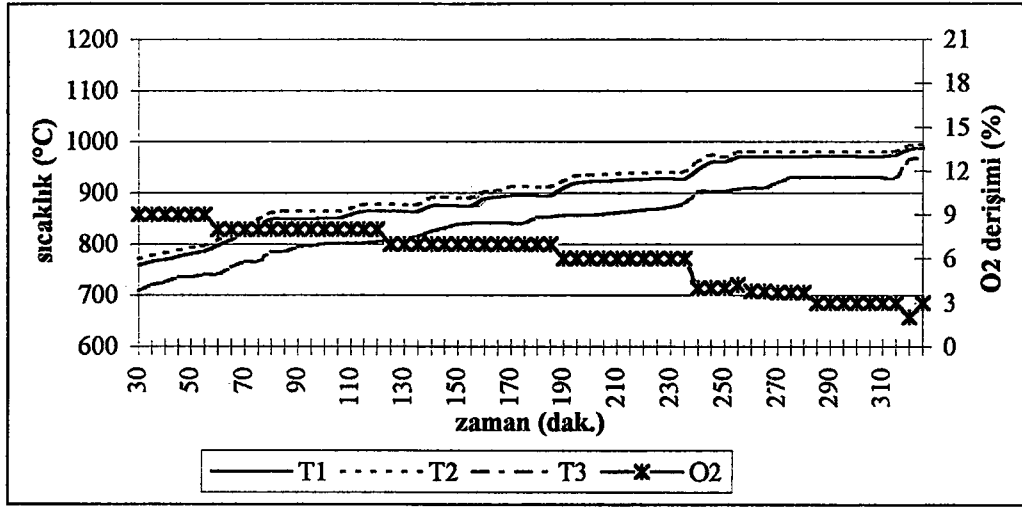
(b)



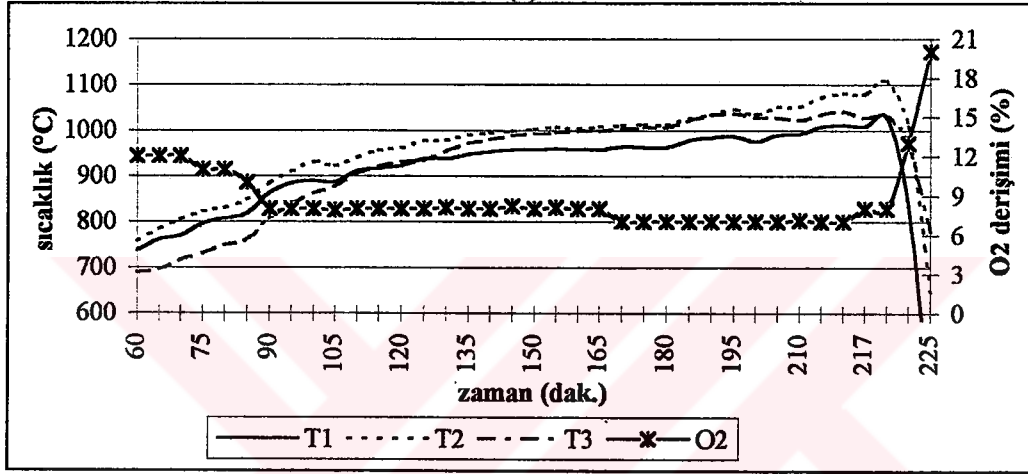
(c)

Şekil 4.17. Çan linyitinin yandığı akışkan yatakta CO yayılım profilleri (YM: Kuvars 0.6-1.0 mm).

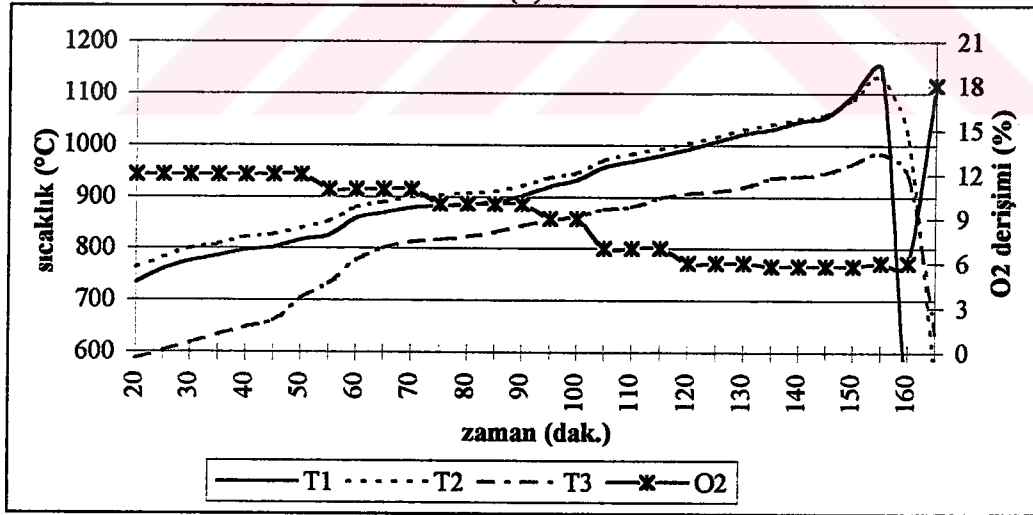
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.18. Çan linyitinin yandığı akışkan yataкта O₂ derişim profilleri (YM: Kuvars 0.6-1.0 mm).
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.

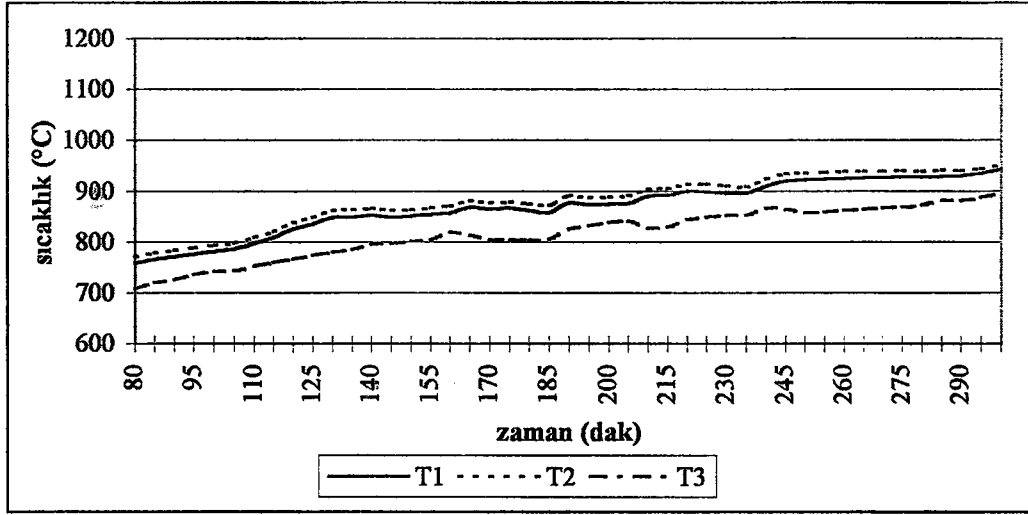
yüksek sıcaklık 1000°C olmuştur. Bu sıcaklıkta herhangi bir ayrışma ve aglomerasyon belirtisi ortaya çıkmamıştır.

Bu linyitin karbonmonoksit ve oksijen derişim profilleri genel hatları ile diğer linyitlerin profillerine benzemektedir. Sıcaklığın düşük olduğu ilk aşamalarda O₂ derişimi göreceli olarak yüksek olmuş, ancak sıcaklığın 800°C 'ın üstüne çıkmasından sonra düşmüştür. O₂ derişimi 1.0-1.9 mm 'lik ince fraksiyon için % 1-2 civarına kadar düşmüş, orta ve kaba fraksiyonlar için ise bu değer % 5- 6 civarında seyretmiştir.

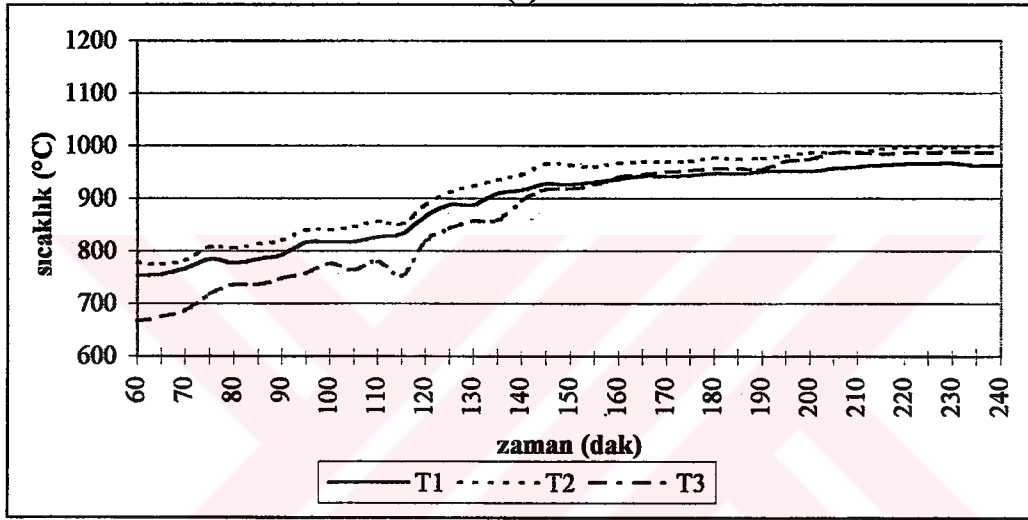
Şu ana kadar irdelenen deneysel sonuçlar gözden geçirildiğinde incelenen linyit numunelerinin tümünün, uygun operasyon koşullarında akışkan yatakta kararlı bir şekilde yandığı ortaya çıkmaktadır. Daha sonraki bölümlerde tartışılacağı üzere (Bak. Bölüm 4.7) 900-950°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda aglomerasyon riski baş göstermektedir. Aktif yatak içindeki ayrışma ve sıcaklık dağılımı, kömürlerin kül içeriklerinden etkilenmektedir. Kül oranı yüksek olan Beypazarı ve Tunçbilek linyitlerinin yanma süreçlerinde, ayrışma eğilimi, kül oranı çok daha düşük olan Çan, Kısırkdere ve Yatağan linyitine oranla daha güçlü olmuştur. Yüksek operasyon hızlarında bu eğilimin ortadan kalkması mümkündür.

Linyitlerin karbonmonoksit yayılım profilleri kıyaslamalı olarak gözden geçirildiğinde, ince kömür fraksiyonlarının yandığı akışkan yataklarda genellikle karbonmonoksit yayılımının daha yüksek olduğu dikkati çekmektedir. Daha iri kömür taneciklerinin yanması sırasında, karbonmonoksit miktarlarını aşağıya çekmek daha kolay olmaktadır. Bu durum önceki bölümde de vurgulandığı üzere, bu taneciklerin daha yüksek oranda sürüklenmesi ve yanmalarını tamamlamadan sistemi terk etmelerinden kaynaklanmaktadır.

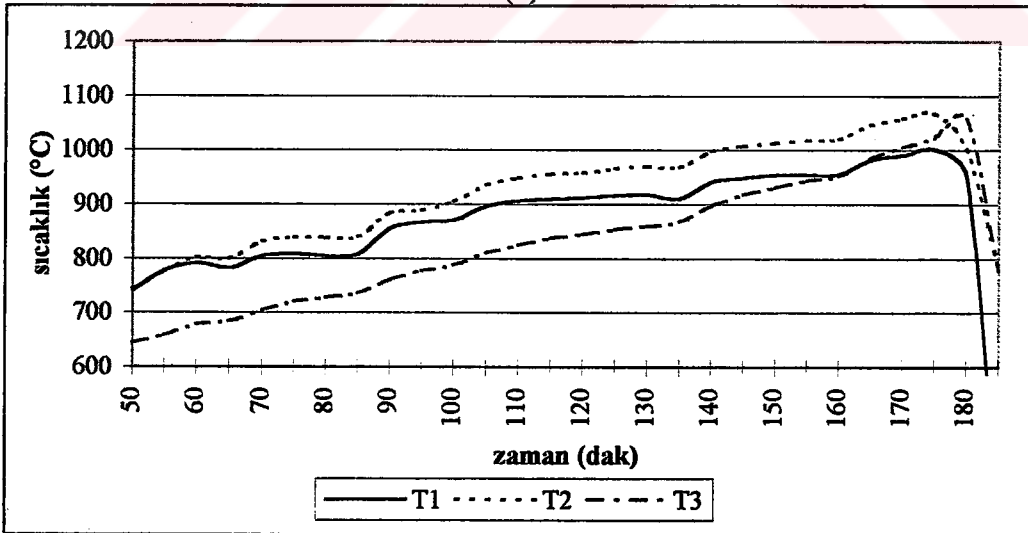
Gerek serbest bölgedeki yanma yoğunluğu ve gerekse karbonmonoksit yayınımları, bu linyitlerin yanmasında serbest bölgenin önemli rol oynadığını ortaya koymaktadır. İncelenen linyitlerin genç olması ve yüksek oranlarda uçucu madde içermeleri, bu bölgedeki yanma yoğunluğunun artmasına yol açmaktadır. Bu kömürler için akışkan yatak tasarımı yapılırken bu noktaların gözden kaçırılmaması gerekmektedir.



(a)



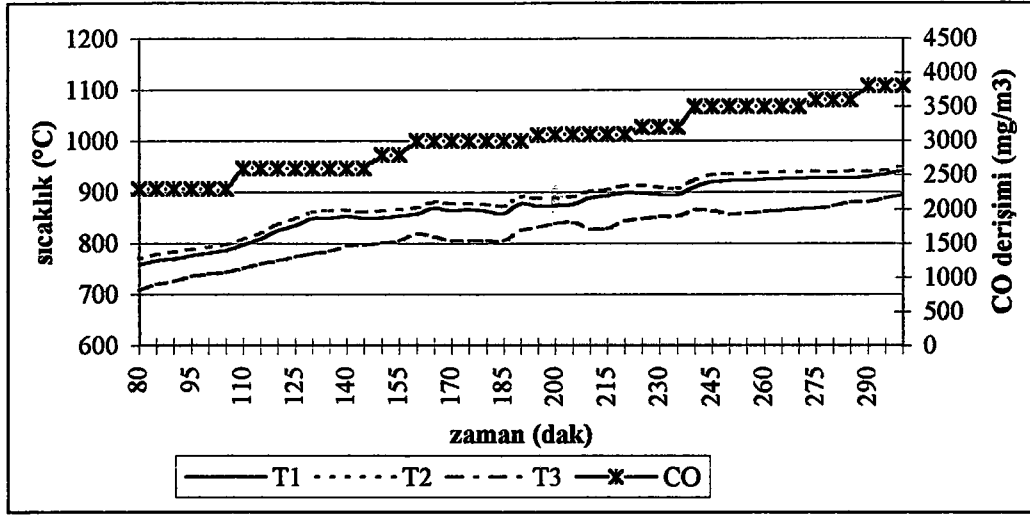
(b)



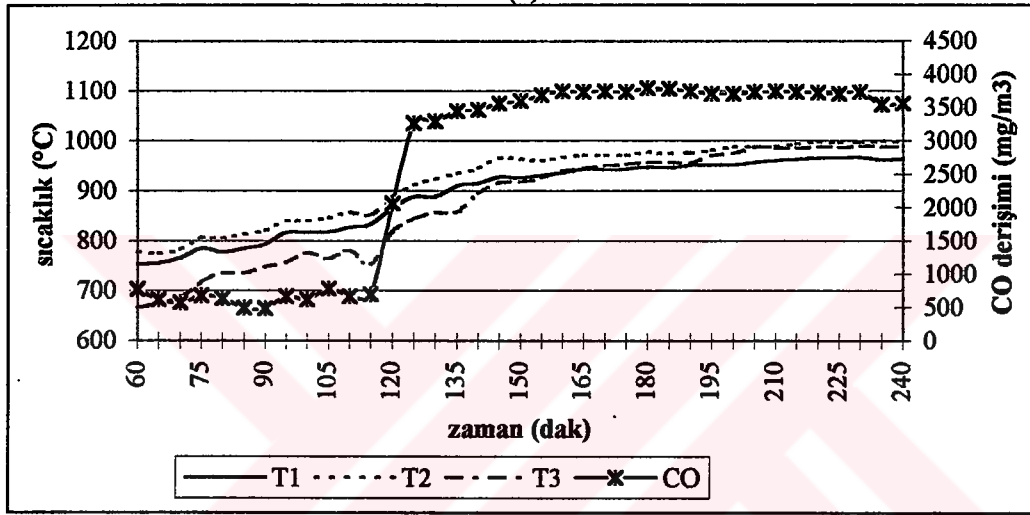
(c)

Şekil 4.19. Yatağan linyitinin yandığı akışkan yatakta aksenal yöndeki sıcaklık dağılımları (YM: Kuvars 0.6-1.0 mm).

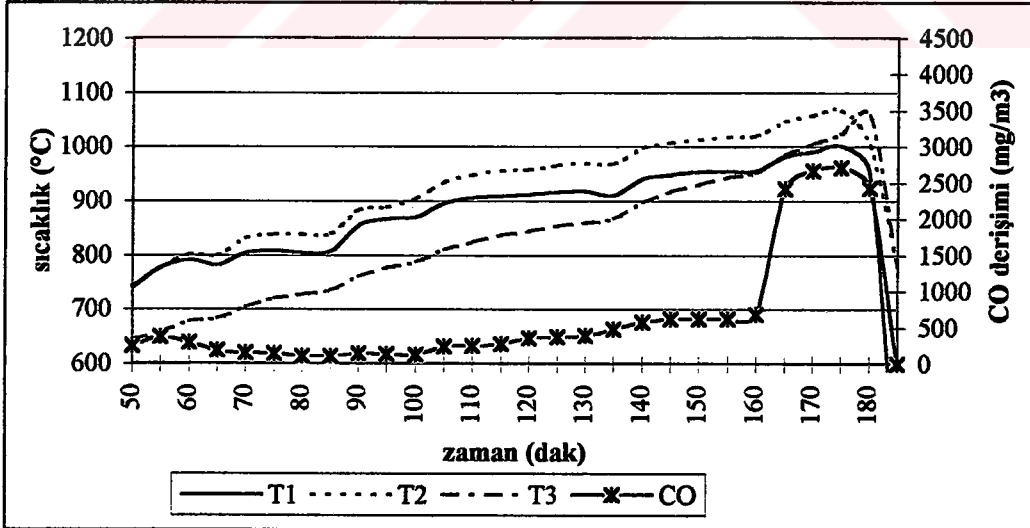
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.



(a)



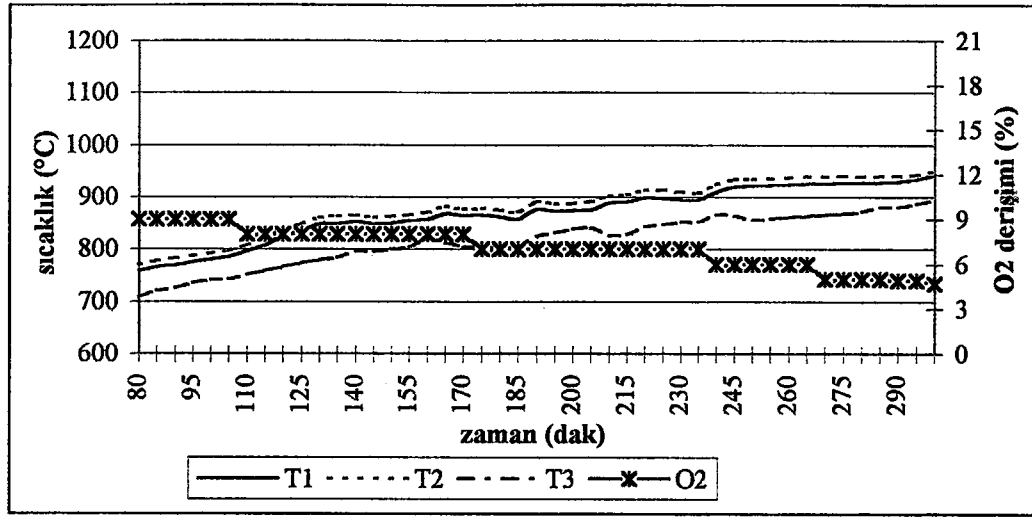
(b)



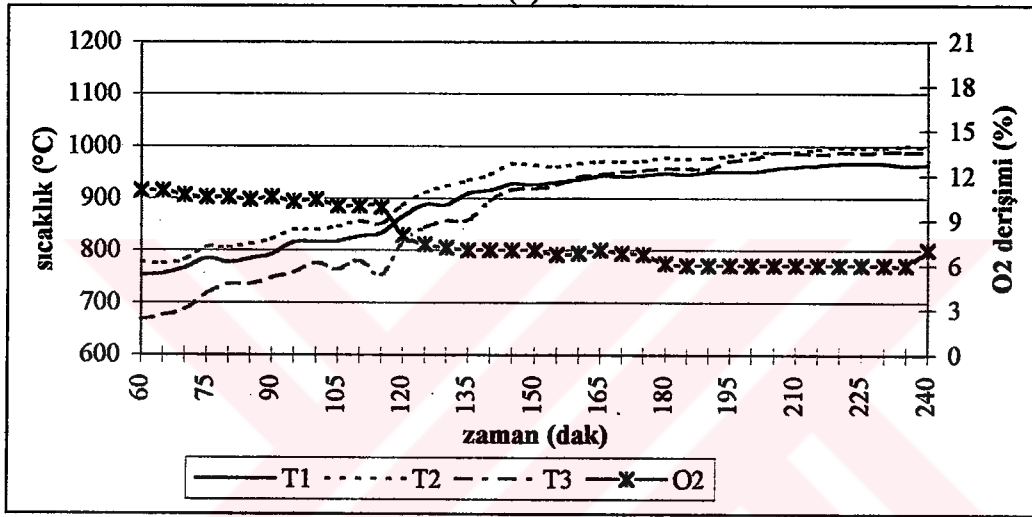
(c)

Şekil 4.20. Yatağan linyitinin yandığı akışkan yatakta CO yayılım profilleri (YM: Kuvars 0.6-1.0 mm).

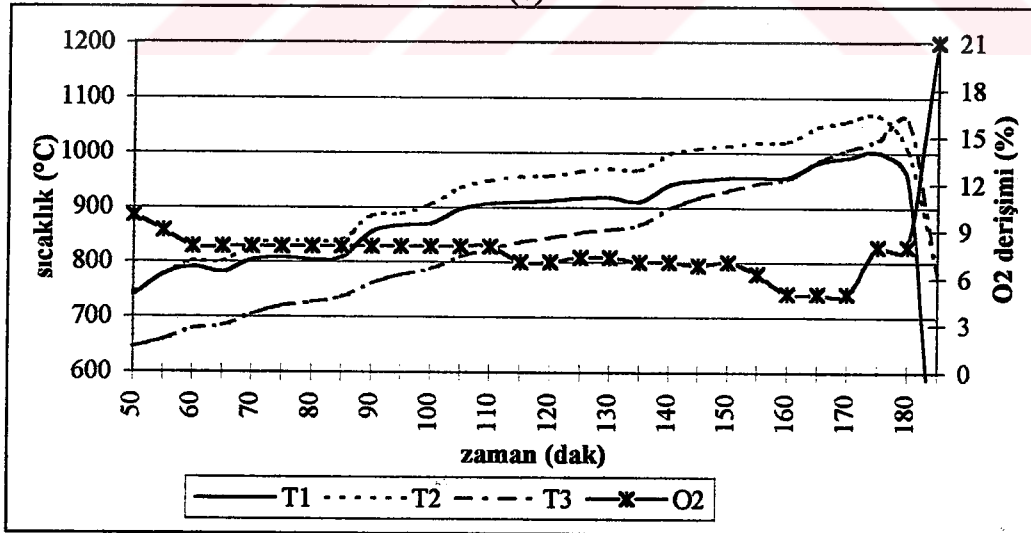
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.



(a)



(b)



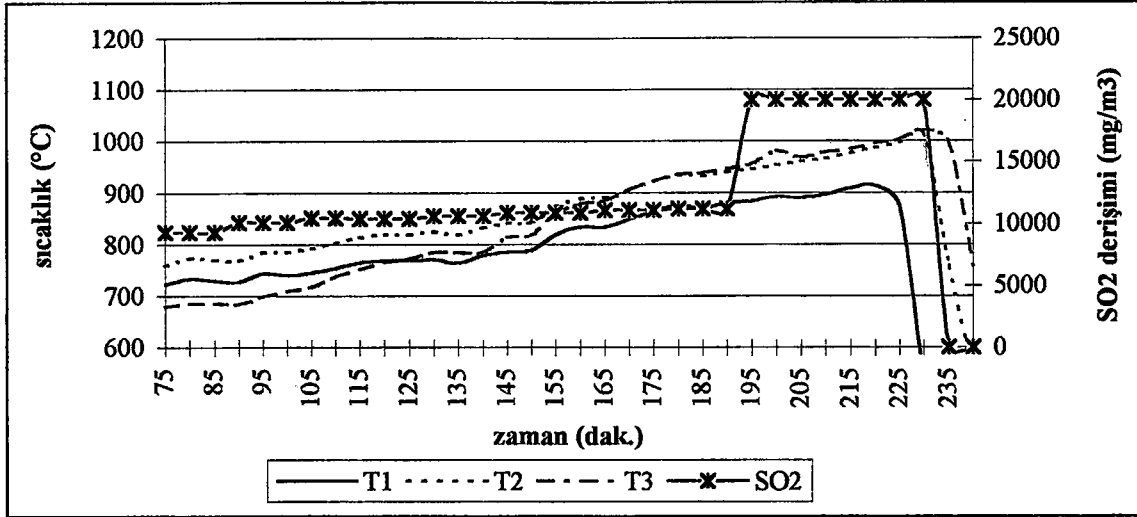
(c)

Şekil 4.21. Yatağan linyitinin yandığı akışkan yataкта O₂ derişim profilleri (YM: Kuvars 0.6-1.0 mm).
Linyit boyutu : a) 1.0-1.9 mm, b) 1.9-2.7 mm, c) 2.7-3.3 mm.

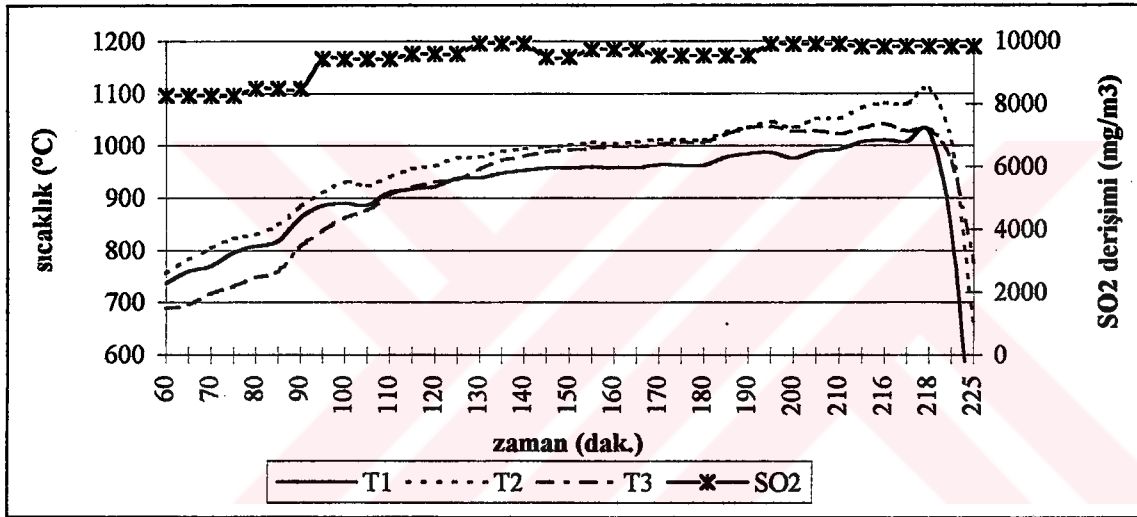
4.6.Linyitlerin Akışkan Yatak Yanma Sürecindeki SO₂ Yayınımının Değişimi

Linyitlerin akışkan yatakta yanma süreçlerinde, yanma gazlarındaki SO₂ derişimini ölçmek için kullanılan ve akışkan yatağa bağı olarak sürekli çalışabilen cihazın SO₂ ölçüm üst limiti 2444 mg/m³ 'tür. Ancak incelenen linyitlerin kükürt içerikleri hayli yüksektir. Bu nedenle yanmanın başlaması ile birlikte ölçülen SO₂ derişimi hızla yükselerek kullanılan analizörün ölçüm aralığının üst sınırını (2444 mg/m³) aştığı için ölçülememiş, dolayısıyla SO₂ derişimlerinin değişimi gözlenememiştir. Bu nedenle, Testo 350 marka taşınabilir bir gaz analiz cihazı kullanılarak SO₂ ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu cihazın ölçüm üst sınırı 20 000 mg/m³ 'tür.

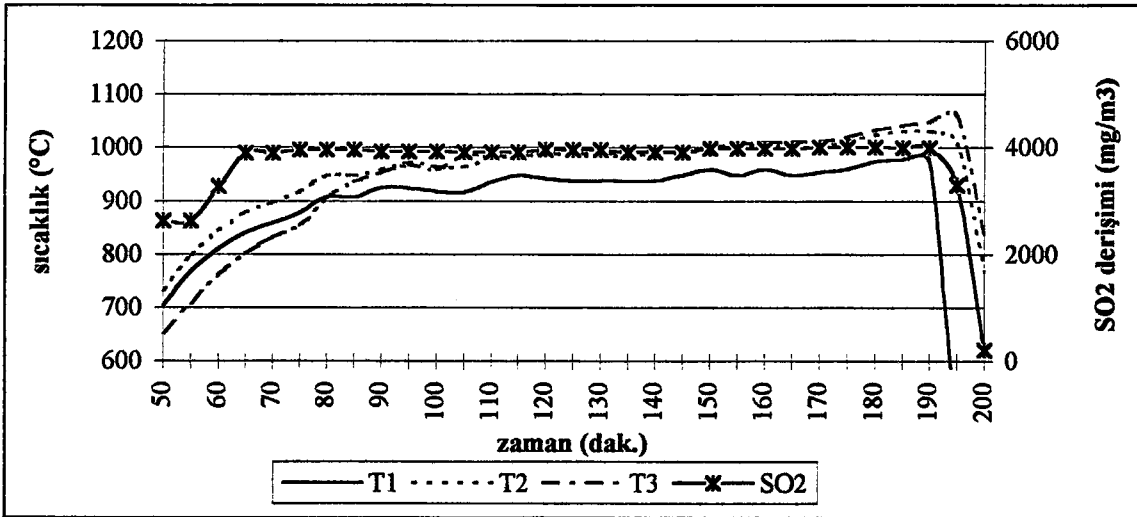
Çalışmada kullanılan Beypazarı, Çan, Tunçbilek, Yatağan ve Kısırakdere (YM: 0.6-1.0 mm kuvars ve 0.6-1.0 mm dolomit) akışkan yatakta yanması sırasında oluşan yanma gazlarındaki SO₂ yayılım profilleri sırasıyla Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27 'de verilmiştir. Bu şekillerde SO₂ miktarı sıcaklık ve zamanın bir fonksiyonu olarak grafiğe geçirilmiştir. Ölçümler 1.9-2.7 mm 'lik orta linyit fraksiyonları için verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi, sistemde kararlı yanma koşulları oluştuktan sonra SO₂ yayılımı da belirli bir düzeyde dar bir aralıkta değişmektedir. Ortaya çıkan SO₂ yayılımı kömüre ve yanma koşullarına bağı olarak değişmektedir. SO₂ derişimi 2000-20000 mg/m³ gibi geniş bir aralıkta değişmiştir. SO₂ yayılımının genellikle bütün kömürler için 850-900°C arasında bir maksimuma ulaştığı gözlenmiştir. Bu sıcaklık aralığı aynı zamanda en iyi yanma koşullarına denk gelmektedir. Yanma süreci boyunca ulaşılan en yüksek SO₂ yayılım değerleri göz önüne alınarak Tablo 4.2 oluşturulmuştur. Tablodaki değerler gözden geçirildiğinde, en yüksek SO₂ yayılımının Beypazarı linyitinin, en düşük SO₂ yayılımının ise Kısırakdere linyitinin yanması sırasında gerçekleştiği görülmektedir. SO₂ yayınımları ile yanabilir kükürt, ısıl değer ve kömür besleme debileri arasında ilişkiyi görebilmek amacıyla, yanabilir kükürt/ısıl değer ile kömür besleme debisindeki yanabilir kükürt miktarları hesaplanarak tabloya eklenmiştir. Bu değerler gözden geçirildiğinde, Kısırakdere hariç diğer linyitler için hesaplanan değerlerle ölçülen SO₂ miktarı arasında bir paralellik olduğu görülmektedir. Bu durum linyitlerin akışkan yatak yanması sırasında ortaya çıkan SO₂ derişiminin linyitin yanabilir kükürt içeriği ve ısıl değeri tarafından etkilendiğini, ancak bu iki özelliğin yayılım miktarını belirlemede yeterli olmadığını göstermektedir. Ancak bunun yanı sıra, SO₂ yayılımı kömürün sürüklenme



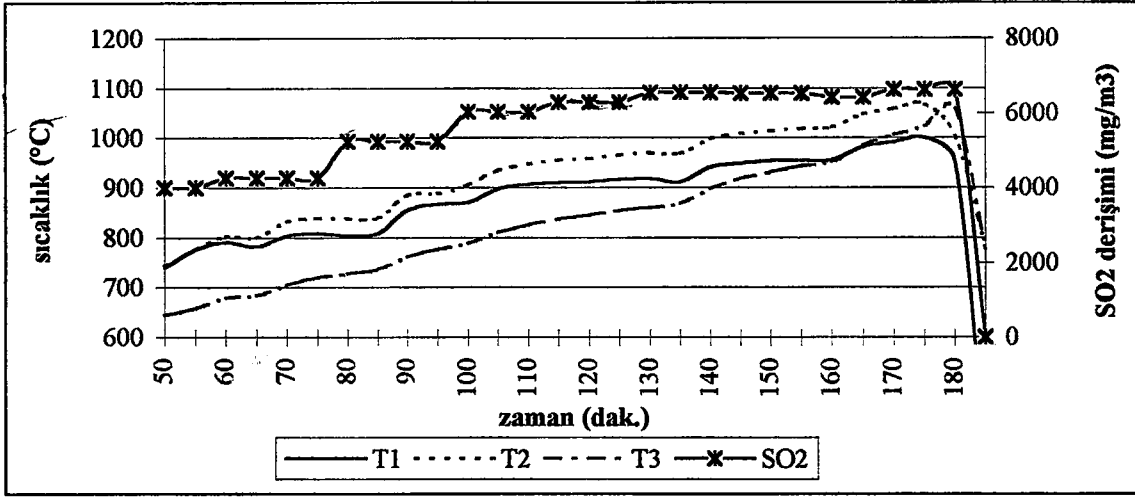
Şekil 4.22. Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yataкта ölçülen SO₂ yayılım profilleri



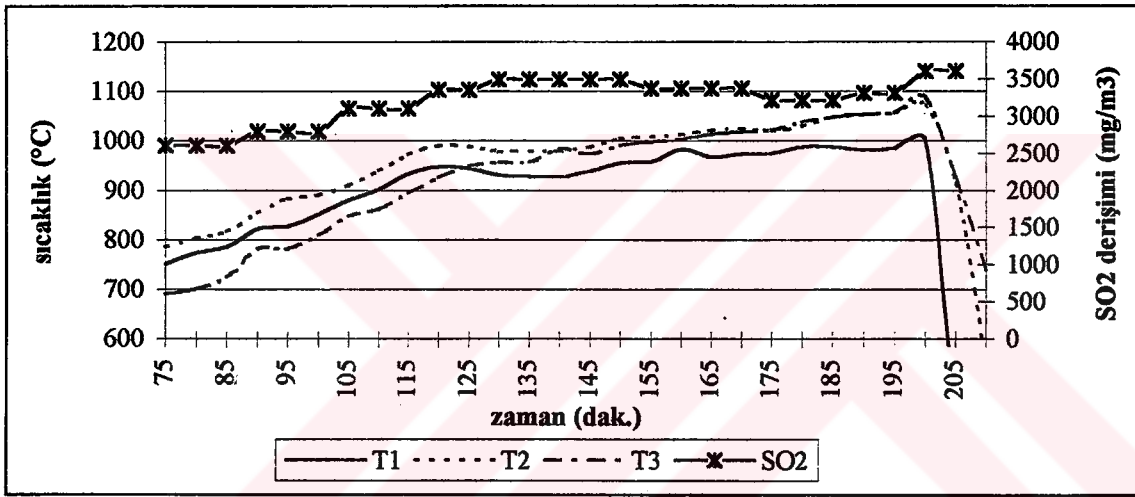
Şekil 4.23. Çan linyitinin yandığı akışkan yataкта ölçülen SO₂ yayılım profilleri



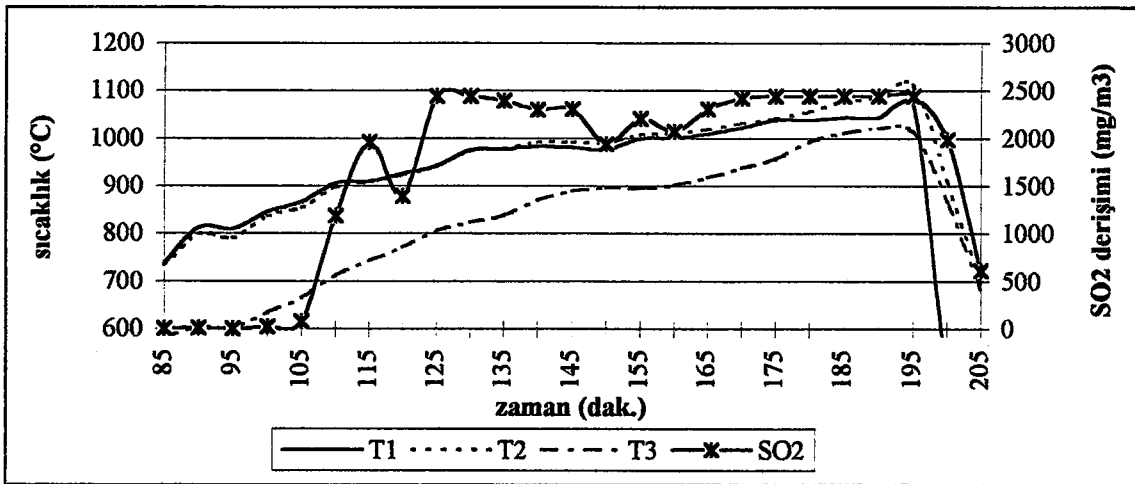
Şekil 4.24. Tunçbilek linyitinin yandığı akışkan yataкта ölçülen SO₂ yayılım profilleri



Şekil 4.25. Yatağan linyitinin yandığı akışkan yataкта ölçülen SO₂ yayılım profilleri



Şekil 4.26. Kısırakdere linyitinin yandığı akışkan yataкта ölçülen SO₂ yayılım profilleri (YM: Kuvars)



Şekil 4.27. Kısırakdere linyitinin yandığı akışkan yataкта ölçülen SO₂ yayılım profilleri (YM: Dolomit)

özellikleri ve külün CaO içeriği gibi faktörler tarafından da etkilenmektedir. Nitekim kullanılan linyit numuneleri içinde sürüklenmesi en az olanlardan biri ve CaO içeriği en yüksek olan linyit Kısırakdere linyiti olmuştur. Bu linyit için SO₂ yayınının düşük ölçülmesi bu özelliklerden kaynaklanmış olabilir.

Tablo 4.2. Linyit numunelerinin akışkan yatakta yanması sırasında yanma gazlarında ölçülen en yüksek SO₂ yayının değerleri.

Kömür	SO ₂ Yayını (mg/m ³)	Kömür Debisi (g/dak)	Kömür Debisi Bazında	10 ⁶ cal Enerji Üretimi Bazında
Beypazarı	20 000	63	2.21	13.3
Çan	10 000	45	2.02	8.4
Kısırakdere	3 400	28	0.91	7.1
Tunçbilek	4 000	50	0.605	2.8
Yatağan	6 300	45	0.89	4.1

Kısırakdere linyiti daha önce de belirtildiği gibi, kuvars kumu ve dolomit olmak üzere iki yatak malzemesi kullanılarak yakılmıştır. Şekil 4.27 dolomit içeren akışkan yatakta gerçekleştirilen yanma sürecine ait SO₂ profili görülmektedir. Şekil 4.27, Şekil 4.26 ile kıyaslandığında, aynı koşullarda dolomit ile yürütülen yanma sürecinde SO₂ yayınının daha düşük kaldığı görülmektedir. Bu durum, ortaya çıkan SO₂ 'in bir kısmının yatak malzemesi olarak kullanılan dolomit tarafından tutulmasından kaynaklanmaktadır.

4.7.Linyitlerin Akışkan Yatakta Yanma Kararlılığı

Literatürde, akışkan yatakta çalışma sınırlarını belirleyen iki etken bulunduğu belirtilmektedir. Bunlar çalışma sıcaklığı ve akışkanlaşma hızıdır. Çalışma sıcaklığının alt sınırını kömürün tutuşma sıcaklığı, üst sınırını ise aglomerasyon sıcaklığı belirlemektedir. Akışkanlaşma hızının sınırları ise minimum akışkanlaşma hızı ve taşınma hızı tarafından belirlenmektedir. Hızlı akışkan yataklarda hızın üst sınırı taşınma hızını aşabilir. Dolayısıyla, çalışma koşullarının bu iki sınır değer arasında seçilmesi durumunda akışkan yatakta yanma gerçekleşmektedir. Ancak, uygulamada akışkan yataktaki yakıcıların çalışma şartları belirlenirken en az bu iki kriter kadar önemle üzerinde durulması gereken bir diğer kriter de, kararlı yanmanın gerçekleştiği

gerçek sıcaklık aralığının saptanmasıdır. Bu aralık büyük ölçüde kullanılan kömürün özellikleri tarafından belirlenmektedir. Bu nedenle her kömür için bu aralığın deneysel olarak belirlenmesi gerekmektedir. Yanma kararlılığını etkileyen başlıca parametreler yatak içi tanecik dağılımı, akışkanlaşma hızı, karışma etkinliği, ve kömürün fiziksel ve kimyasal yapısıdır.

Çalışmada kullanılan linyitlerin yanma özellikleri daha önceki bölümlerde tartışılmıştır. Bu bölümlerde verilen sıcaklık ve CO yayılım profilleri incelendiğinde, CO derişiminin yanma sıcaklığına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Sıcaklığın düşük olduğu akışkan yataklarda CO derişiminin yüksek olduğu, ancak sıcaklığın yükselmesine paralel olarak CO derişiminin düştüğü görülmektedir. CO derişiminin yükselmesi yalnız yanma sıcaklığının düşük olması değil, linyitlerin fiziksel özellikleri tarafından da etkilenmektedir. Örneğin, Beypazarı linyitinin diğer linyitlere göre daha fazla sürüklenmesi nedeni ile CO derişimi artmıştır. Yanma gazlarında CO derişiminin yüksek olması bir tür “yanma kararlılığının bozulması” olarak nitelenebilir. Dolayısıyla, yanma kararlılığının bir çok faktör tarafından etkilenebileceği anlaşılmaktadır. Kararlı yanma sıcaklığının alt sınırı her ne kadar teorik olarak tutuşma sıcaklığı olarak alınsa da pratikte, yanmanın verimi açısından, bu sınırın daha yüksek olması istenir. Başka bir ifade ile kararlı yanma aralığı daha dar olmaktadır.

Yine daha önceki bölümlerde verilen sıcaklık profilleri gözden geçirilirse, bu çalışmada incelenen beş linyit numunesinin kararlı bir şekilde yandığı sıcaklık aralığı, kömürlerin özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Ancak, genel olarak bu sıcaklıkların 800-950°C aralığında değiştiği görülmektedir.

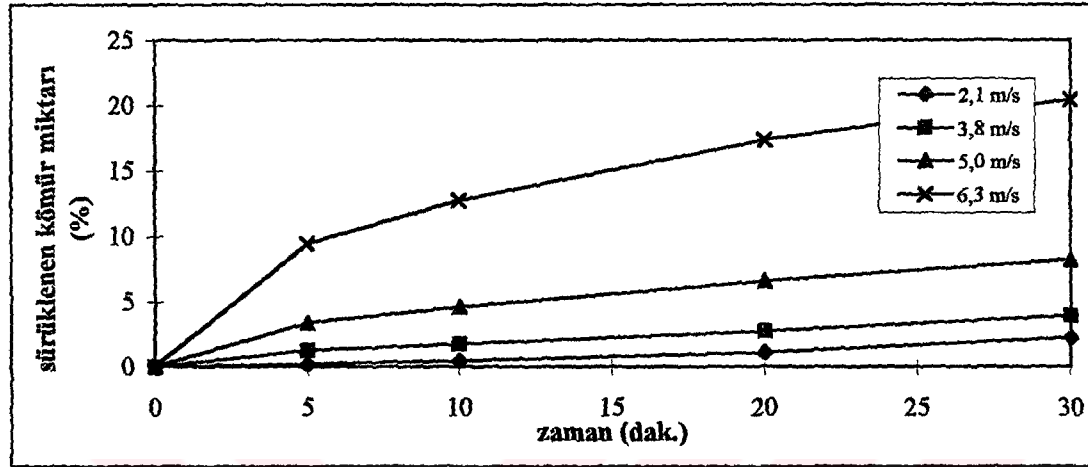
Atakül (1986), Çan linyiti kullanarak gerçekleştirdiği çalışmalarda kömür ve yatak malzemesi boyutlarının uygun seçilmemesi durumunda yatak içinde ayrışmanın başladığını, bunun sonucunda kömür taneciklerinin “yüzüşen zengin” veya “batışan zengin” koşullarda yanmaya başlayarak yanma kararlılığını bozduğunu ve bu koşullarda yanmanın sürdürülmesi durumunda genellikle aglomerasyon eğiliminin ortaya çıktığını belirtmektedir. Ancak, bu çalışmada aynı bölge linyiti kullanılarak ve hemen hemen aynı tanecik boyutu seçilerek, ancak daha yüksek akışkanlaşma hızlarında gerçekleştirilen akışkan yatak yanma çalışmalarında, 1.0-1.9 mm 1.9-2.7 mm ‘lik fraksiyonlar için herhangi bir ayrışma belirtisi görülmemiştir. Bu bir çelişki

gibi görülse de, yüksek akışkanlaşma hızlarında, kömür ve yatak malzemesinin boyut veya yoğunluk farkından kaynaklanan ayrışma eğiliminin, etkin karışma nedeniyle bastırıldığı anlaşılmaktadır. Akışkanlaşma hızının artması yatak içindeki karışmayı şiddetlendirmektedir. Bu durum kömür taneciklerinin ufalanmasına neden olmakta ve yataktan sürüklenmesini artırmaktadır. Sürüklenen tanecikler yanmalarını tamamlayamadan sistemi terk etmekte ve dolayısıyla yanma verimini düşürmektedirler. Tablo 3.7 'deki kırılabilirlik değerleri gözden geçirildiğinde en yüksek kırılabilirlik değerine Beypazarı linyitinin (%23.9), en düşük kırılabilirlik değerine ise Çan linyitinin (%1.8) sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar aynı linyitlerin akışkan yatak yanma süreçlerinde çıplak gözle yapılan gözlemlerle de uyum içindedir. Bu nedenle, Beypazarı linyitinin yandığı akışkan yataklarda yatağın üst kesitlerinde ve serbest bölgede kömür yoğunluğu daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Nitekim, soğuk akışkan yatakta yapılan sürüklenme çalışmasının sonuçları da bu durumu doğrular yönde olmuştur. Sürüklenme deneylerinde en yüksek ve en düşük kırılabilirliklere sahip olan Beypazarı ve Çan linyitleri incelenmiştir. Çalışmada akışkanlaşma hızı ve parçacık büyüklüğü temel parametre olarak incelenmiştir. Bunun yanı sıra, sıcaklık etkisini belirlemek amacıyla linyitler değişik sürelerle şok ısıtmaya tabi tutularak, bunun sürüklenmeye etkisi incelenmiştir.

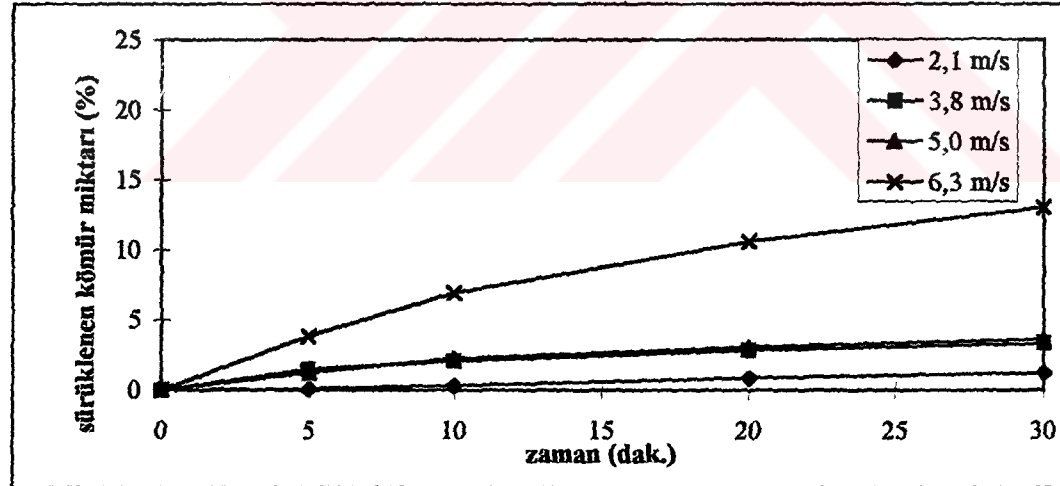
Akışkanlaşma hızının, linyitlerin sürüklenmesine olan etkisini incelemek amacıyla parçacık boyut aralığı (2.7-3.3 mm) sabit tutularak, hava hızı 2.1-6.3 m/s arasında değiştirilmiştir. Tablo 3.6 'da verilen linyitlerin minimum akışkanlaşma hızları ile (1.3 m/s) operasyon hızları oranlandığında, bu oranın 1.6 ile 4.6 arasında değiştiği görülmektedir. Bu hız aralığı endüstriyel atmosferik akışkan yatakların operasyon hızı sınırları içindedir (Howard, 1989).

Şekil 4.28 ve Şekil 4.29 'da sırasıyla Beypazarı ve Çan linyitlerinin havada kuru fraksiyonlarının akışkan yatakta sürüklenme miktarı akışkanlaştırma havasının ve süresinin bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Her iki linyitte de düşük hızlarda zamana yayılan bir sürüklenme görülmektedir. Hızın 6.27 m/s 'ye ulaşmasından sonra ise, ilk dakikalarda sürüklenmenin hızlı bir seyir izlediği dikkati çekmektedir. Her iki linyit için de sürüklenme ilk on dakikada hızlı olurken, bu süreden sonra yavaşlamaktadır.

Şekil 4.28 ve Şekil 4.29 bir arada değerlendirildiğinde, beklenildiği üzere, sürüklenen kümülatif kömür miktarının zamanla sürekli olarak arttığı görülmektedir. Buna karşın, kömürün sürüklenmesinin zamana yayılışını kömürün cinsi, akışkanlaşma hızı ve nemli gibi parametreler tarafından etkilenmektedir. Yüksek hızlarda, sürüklenme ilk 5-10 dakika içinde hızlı bir şekilde gerçekleşmekte, daha sonra ise yavaşlamaktadır.



Şekil 4.28. Beypazarı linyitinin akışkan yatakta sürüklenmesinin zaman ve akışkanlaşma hızı ile değişimi



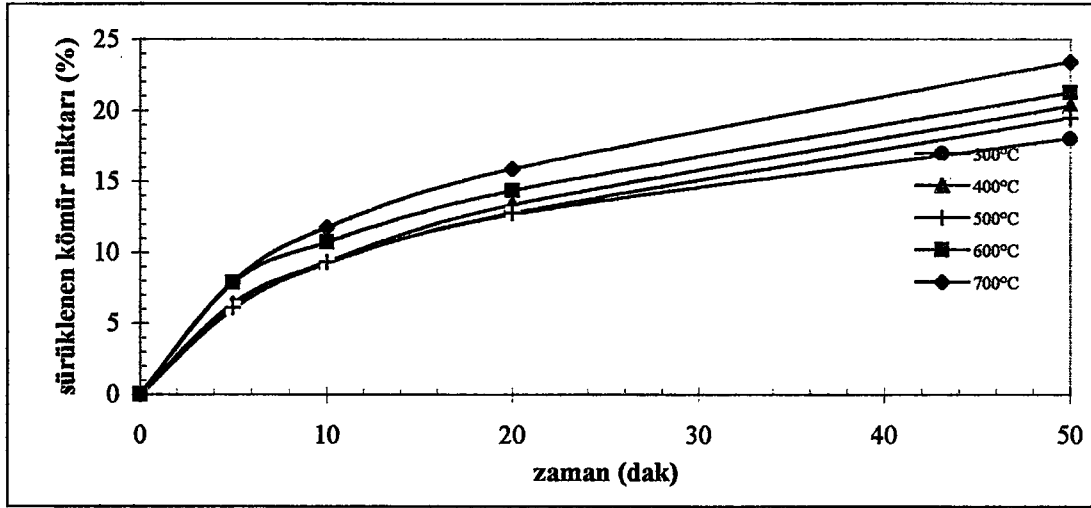
Şekil 4.29. Çan linyitinin akışkan yatakta sürüklenmesinin zaman ve akışkanlaşma hızı ile değişimi

İki linyit numunesi, aynı süreler içinde taşınan kümülatif miktarlar ve taşınma hızları göz önüne alınarak kıyaslandığında, aynı akışkanlaşma hız değerlerinde, Beypazarı linyitinin daha fazla sürüklendiği görülür. Havada kuru linyit fraksiyonları için, 2,11 m/s hızında 30 dakika sonunda, yataktan sürüklenen madde miktarı Beypazarı ve Çan

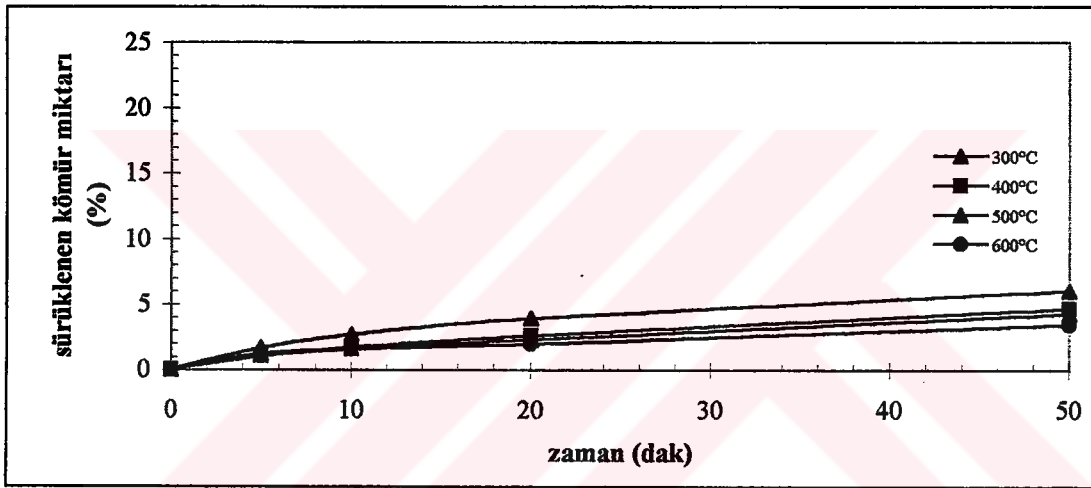
linyitleri için sırasıyla 1.11 g ve 0.61 g olmuştur. Akışkanlaşma hızının 6.27 m/s olduğu durum için ise bu değerler, sırasıyla 10.22 g ve 6.51 g olarak bulunmuştur. Nitekim, bu durum, söz konusu linyitlerin akışkan yatakta yakılması sırasında da gözlenmiştir. Daha önceki bölümlerde irdelendiği gibi, Baypazarı linyitinin yakıldığı akışkan yatakta yüksek oranda sürüklenmeden dolayı serbest bölge sıcaklıkları, Çan linyiti yakılan akışkan yataklara kıyasla daha yüksek olmuştur.

Kömür tanecikleri, sıcaklığı 800-900°C civarında olan akışkan yatak ortamına düştüklerinde saniyeler mertebesindeki kısa sürelerde tutuşma sıcaklığına kadar ısınmaktadır. Yani bir nevi “şok ısınmaya” uğramaktadır. Şok ısınma ise kömür taneciklerini parçalanmaya karşı daha hassas bir duruma sokmaktadır. Bu durum göz önüne alınarak, linyit tanecikleri 300-700°C sıcaklığındaki fırına konularak, burada 1-5 dakika süre ile tutulmuştur. Şok ısıtmanın sürüklenmeye etkisi, bu şekilde hazırlanan tanecikler kullanılarak incelenmiştir. Bu sıcaklık aralığı, akışkan yatak yakma sistemlerinde kömürün nemini kaybettiği ve sürüklenmeye maruz kaldığı yanmanın ilk aşamalarını temsil etmektedir. Sürüklenme deneyleri 5,0 m/s sabit akışkanlaşma hızında gerçekleştirilmiştir.

Şok ısıtmaya tabi tutulmuş kömürlerle gerçekleştirilen sürüklenme deneylerinin sonuçları, Beypazarı ve Çan linyitleri için sırasıyla Şekil 4.30 ve Şekil 4.31 'de görülmektedir. Şekil 4.30 'daki sonuçlar aynı linyite ait olan Şekil 4.28 'deki sonuçlarla aynı hız bazında kıyaslandığında, ani sıcaklık değişiminin Beypazarı linyitinin sürüklenmesini önemli ölçüde artırdığını ortaya koymaktadır. $u=5$ m/s operasyon hızında akışkan yatakta ilk beş dakikada sürüklenen miktar, ısıtılmamış orijinal Beypazarı linyiti için %4 'ün altında kalırken, ısıtmadan sonra, yaklaşık iki kat artmıştır. Bu artışın Beypazarı linyitinin yüksek nem ve uçucu madde içeriği ile çalışmada kullanılan diğer linyitlere kıyasla daha zayıf olan inorganik yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şok ısınmaya tabi tutulan tanecikteki nem ve uçucu maddeler gözeneklerden çıkışları sırasında genleşmekte ve tanecik içinde basıncın ve buna bağlı olarak da gözenek çeperlerindeki gerilmenin artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, taneciğin katı yapısı zayıflamakta, maruz kaldığı fiziksel ve mekanik darbelerin de etkisiyle parçalanabilmekte ve sürüklenmektedir. Bu sonuçlar, bu linyitin akışkan yatak yanma sürecindeki davranımı ile uyum içinde görünmektedir (Bak. Bölüm 4.1).



Şekil 4.30. Termal şok sonrası Beypazarı linyitinin akışkan yatakta sürüklenmesi



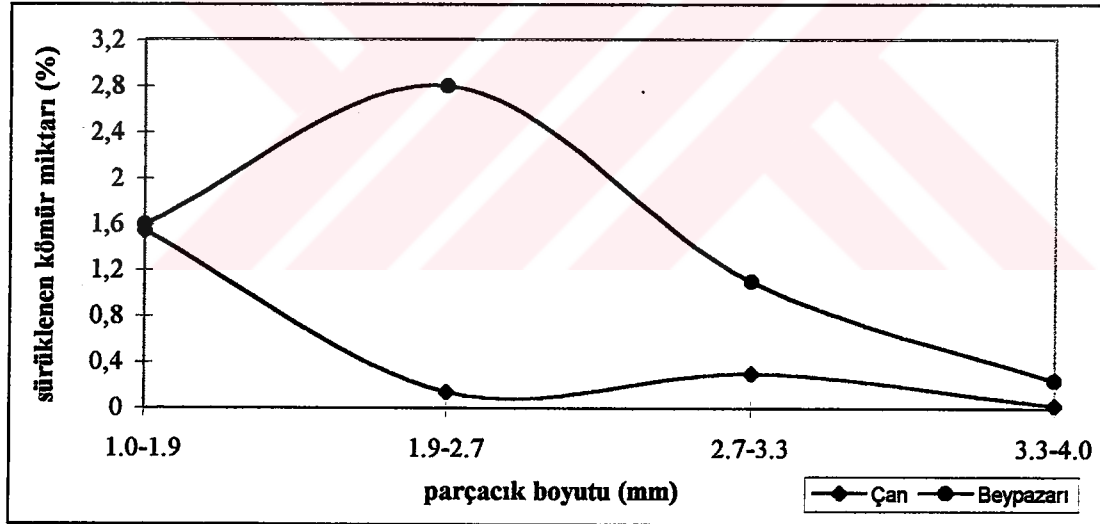
Şekil 4.31. Termal şok sonrası Çan linyitinin akışkan yatakta sürüklenmesi

Çan linyitinde durumun daha farklı olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.29 ve 4.31 'deki sürüklenme profilleri bir arada gözden geçirildiğinde, bu linyitin sürüklenme özelliklerinin incelenen sıcaklık aralığında, şok ısıtmadan çok daha az etkilendiği görülmektedir. İlk beş dakikada sürüklenen linyit miktarı orijinal ve ısıtılmış numuneler hemen hemen aynı seviyelerde bulunmaktadır. Zamanla değişim açısından incelendiğinde, her iki linyit için de ısıtma öncesi ve sonrası sürüklenme profillerinin birbirine benzediği görülmektedir. İlk anlarda sürüklenme hızlı, ancak, daha sonra oldukça yavaş bir seyir sergilemektedir.

Sürüklenme deneyleri genel olarak gözden geçirildiğinde, Beypazarı linyitinin, Çan linyitine kıyasla her koşulda daha fazla sürüklendiği görülmektedir. Akışkan yatağın

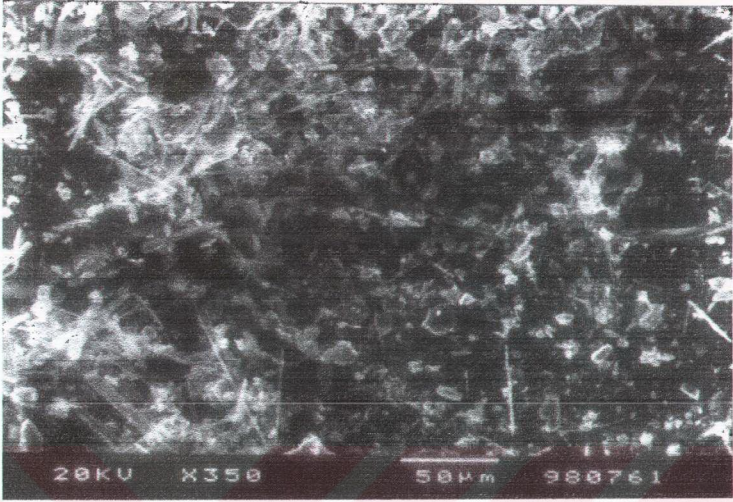
operasyon koşullarında sürüklenme hızının daha da yüksek olması beklenmektedir. Çünkü bu koşullarda tanecik hem daha yüksek sıcaklıklarda yanmakta, hem de daha hızlı bir şekilde ısınmaktadır. Bunu yanı sıra, kömür tanecikleri ile yatak malzemesi arasında gerçekleşen çarpışma ve sürtünmeler, parçacıkların parçalanmaları ve ufalanmaları için daha uygun koşullar yaratmaktadır.

Sürüklenmenin parçacık büyüklüğü ile değişimini incelemek amacıyla, diğer koşulların sabit tutulduğu ve yalnızca tanecik boyutunun değiştirildiği bir seri deney yapılmıştır. Akışkanlaşma hızı 1.7 m/s 'de sabit tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.32 'de verilmiştir. Bu şekilde sürüklenen kömür miktarı kömür tanecik boyutunun fonksiyonu olarak grafiğe aktarılmıştır. Bu Şekildeki sonuçlar da Beypazarı linyitinin sürüklenmeye olan yatkınlığını yansıtmaktadır. Tanecik boyutu büyüdükçe, Çan linyitinin sürüklenmesi azalmaktadır. Beypazarı'da durum biraz daha farklı olmasına karşın benzer şekilde, tanecik çapı büyüdükçe sürüklenme daha düşük düzeylerde kalmaktadır.

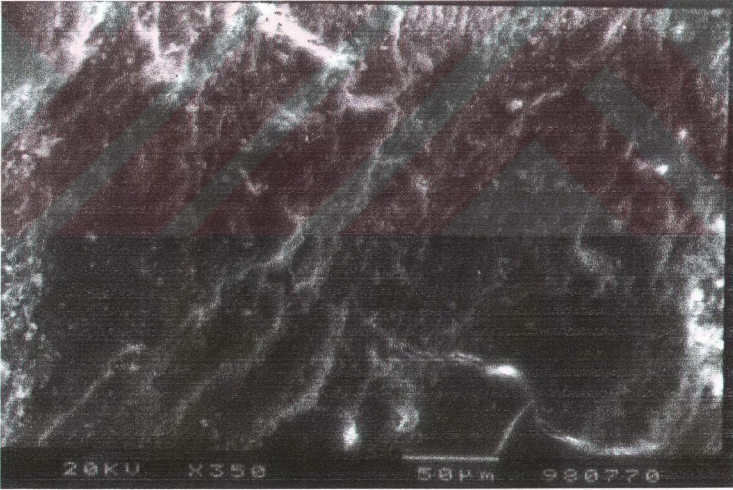


Şekil 4.32. Sürüklenen kömür miktarının tanecik boyutu ile değişimi

Çalışmada kullanılan linyitlerin SEM fotoğrafları Şekil 4.33 'te görülmektedir. Bu linyitler içerisinde yüzey özellikleri açısından en farklı görünen linyit Beypazarı linyitidir. Bu linyitin yüzeyinde çubukumsu bazı oluşumlar olduğu göze çarpmaktadır. X-ışını yöntemi ile yapılan noktasal analiz bu oluşumların oldukça yüksek oranlarda (>%60) SiO₂ içerdiğini göstermiştir. Ayrıca linyit yapısının da pulcuklar şeklindeki

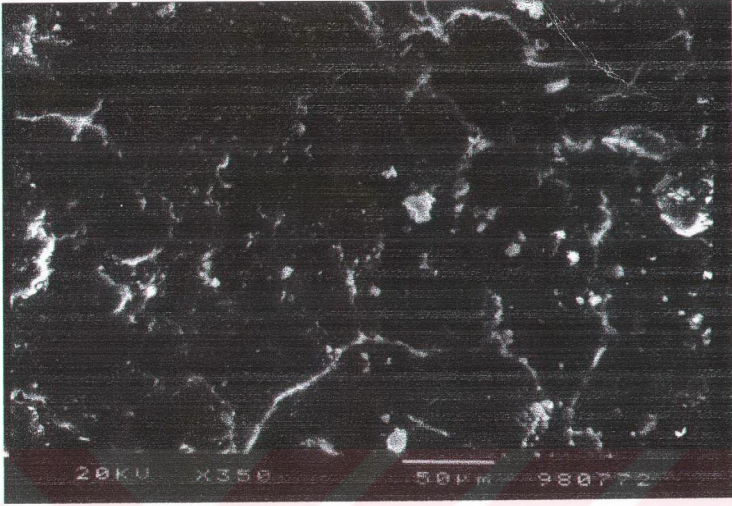


(a)

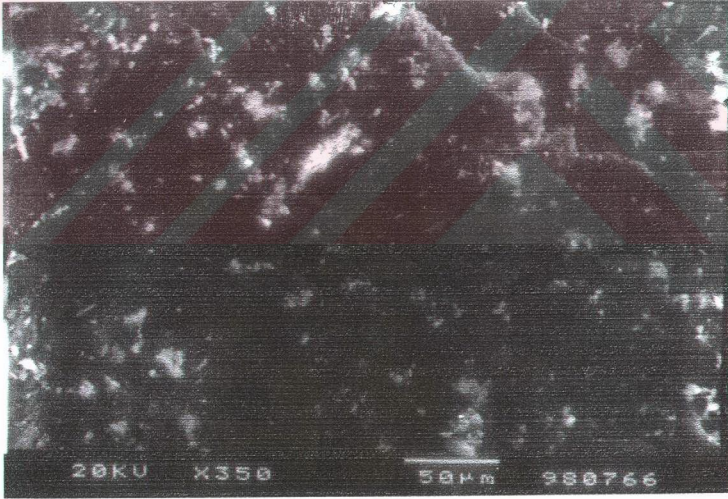


(b)

Şekil 4.33. Linyit numunelerinin SEM fotoğrafları: a)Beypazarı, b)Çan, c)Kısırkdere, d)Tunçbilek ve e)Yatağan.

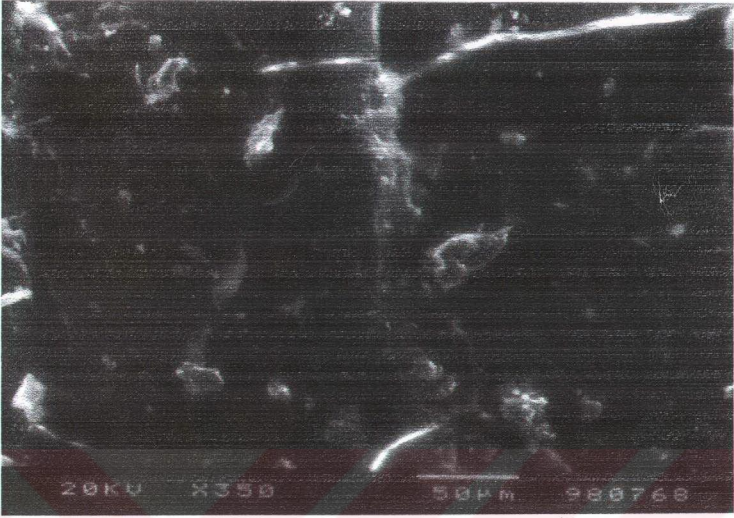


(c)



(d)

Şekil 4.33. Linyit numunelerinin SEM fotoğrafları: a)Beypazarı, b)Çan, c)Kısırkdere, d)Tunçbilek ve e)Yatağan. (devam)



(e)

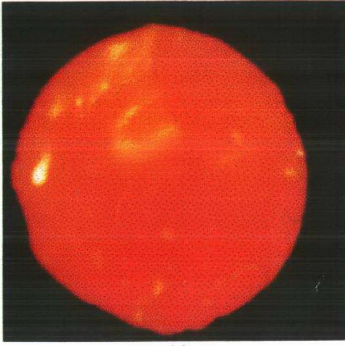
Şekil 4.33. Linyit numunelerinin SEM fotoğrafları: a)Beypazarı, b)Çan, c)Kısrakdere, d)Tunçbilek ve e)Yatağan. (devam)

parçalı tabakalardan oluştuğu görülmektedir. Diğer linyitler ise tabakamsı ve daka kompakt bir görünüm arzemektedir. Özellikle Çan ve Kırakdere linyitleri yapı olarak oldukça üniform bir görünümdeyir. Daha önce de belirtildiğı gibi, Beypazarı linyiti yanma sırasında en çok sürüklenen kömürlerden birisidir. SEM fotoğraflarından sürüklenmenin kömürün fiziksel yapısı ile ilgili olabileceğı anlaşılmaktadır. Pulsu tabakalardan oluşan yapısından dolayı, Beypazarı linyitinin kırılğanlığı, daha tekdüze ve kompakt bir yapıya sahip görünen diğer linyit numunelerine kıyasla daha yüksektir ve mekanik darbelere karşı daha hassastır. Bu fiziksel durum akışkan yatak koşullarında bu kömürün daha kolaylıkla parçalanmasına ve sürüklenmesine neden olmaktadır.

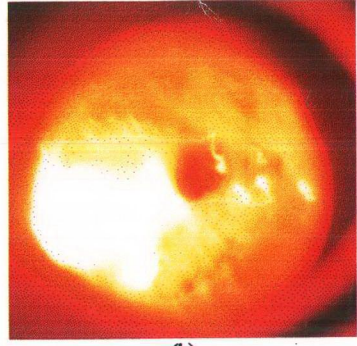
4.8.Linyitlerin Aglomerasyonu

Bu çalışmanın bir amacının da incelenen linyitlerin akışkan yatakta yanma sıcaklığının deneysel olarak belirlenmesi olduğı daha önce de belirtilmiştir. Bu amaç doğrultusunda çalışma sırasında, bütün linyit numunelerinin akışkan yatakta yanma süreçleri aglomerasyonun başlaması ve gelişmesi açısından da gözlenmiş ve incelenmiştir. Aglomerasyon kömürün anorganik yapısı, ergime özellikleri ve akışkan yatağın operasyon koşulları tarafından etkilenen oldukça karmaşık bir olaydır. Dolayısıyla kömürden kömüre farklılıklar göstermektedir (Goblirsch ve Talty, 1980; Atakül, 1986; Jung ve Schobert, 1992). Çok sayıda faktörün etkilemesi nedeniyle, yakma sistemlerinin güvenli çalışması açısından aglomerasyon özelliklerinin akışkan yatakta ve çalışma koşulları altında incelenmesi gerekmektedir. Çalışmalar sırasında yanma kararlılığının bozulması ve aglomerasyon eğiliminin ortaya çıkması iki şekilde gözlenmiştir; 1. çıplak gözle izleme, 2. yatak içi sıcaklıklar ve basınç düşüşlerinin ölçülmesi.

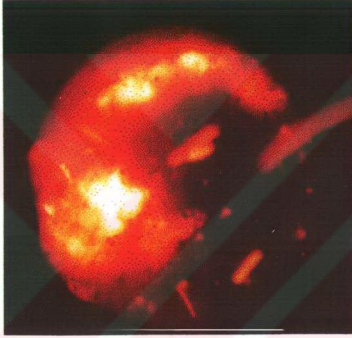
Yatak yüzeyini çıplak gözle veya bir kamerayla gözleyerek aglomerasyon olayı hakkında ipuçları elde etmek mümkündür. Çalışma sırasında yatak yüzeyi, bir gözetleme penceresi yardımı ile sürekli olarak gözlenmiştir. Aktif yatak yüzeyi, ayrıca serbest bölgenin üst tarafına yerleştirilen bir kamera vasıtasıyla da izlenmiştir. Şekil 4.34 'te aglomerasyonla son bulan bir yanma rejiminde, aglomerasyon öncesinde video kamera ile akışkan yatak yüzeyinden çekilmiş fotoğraflar görülmektedir. Fotoğraflar



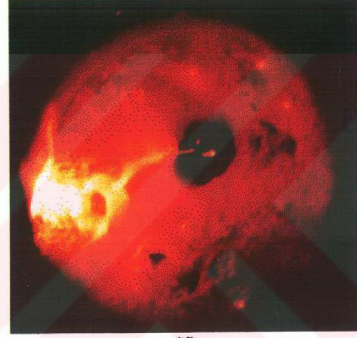
(a)



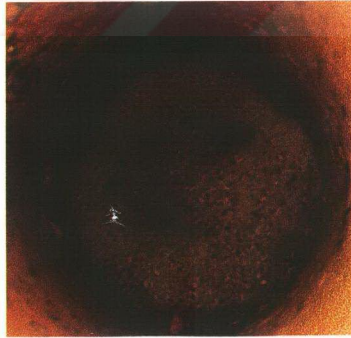
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.34. Akışkan yataklı bir yakıcıda aglomerasyonun oluşumu ve gelişmesi.

Kısırkdere linyitinin yanma sürecine aittir. Şekil 4.34a, normal yanma sürecinin devam ettiği bir akışkan yatak yüzeyini göstermektedir. Burada, yatağa düşen kömür tanecikleri yatay ve düşey yönde rahatça hareket etmektedirler ve uçucu madde ve yarı kok yanması yatağın her yerinde görülebilmektedir. Yatak, homojen bir renk tonuna sahiptir. Açık renk noktalar uçucu madde yanmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.34b aglomerasyonun başladığı anı göstermektedir. Görüldüğü gibi, aglomerasyonun başlangıç aşamasında yatağa düşen kömür taneciklerinin yatay ve düşey yöndeki hareketleri yavaşlamaktadır. Bu nedenle, kömürün besleme noktası yakınında yanma normal seyrini devam ettirirken (açık renkli bölge), diğer bölgelerde soğuma başlamaktadır (sarımsı bölge). Bu aşamada, sistemin parametreleri ile (örneğin hava hızı ile) oynayarak aglomerasyonun daha da ilerlemesi önlenebilir ve normal operasyon koşullarına dönülebilir. Şekil 4.34c, aglomerasyonun daha ileri bir aşamasını göstermektedir. Yatağın bazı bölgelerinde (koyu bölgeler) yanma tümü ile son bulmuştur. Diğer bölgelerinde ise soğuma hızla ilerlemektedir. Ancak, yer yer yanma devam etmektedir (açık renk bölgeler). Bu aşamada aglomerasyon süreci geri dönülmez bir noktadadır. Aglomere kütle oluşmuştur ve yatak alanının büyük bir bölümünü kaplamış durumdadır. Şekil 4.34d 'de, aglomerasyon sürecinin son aşaması görülmektedir. Aglomerasyon tüm yatak kesitini kaplamış ve sistem akışkanlığını yitirerek sabit bir yatak haline gelmiştir. Yatağın büyük bölümünde sıcaklık kömürün tutuşma sıcaklığının altına düşmüştür. Yatağa düşen kömür taneciklerinin tümü düştüğü noktada kalmaktadır. Yanma fiilen son bulmuştur ve katı kütle süngerimsi bir görünümündedir. Kütlenin içinde görülen koyu noktalar, havanın kanalize olarak aktığı kanalcıkları ve bölgeleri göstermektedir. Şekillerde görüldüğü gibi, besleme noktasına (uçucu maddelerin yandığı açık renk nokta) en uzak bölgeler en çabuk soğuyan bölgelerdir. Şekil 4.34e 'de ise aglomerasyonda son durum görülmektedir. Süngerimsi yapı daha net ve ayrıntılı bir şekilde ortaya çıkmış bulunmaktadır. Kütlenin üzerinde irili ufaklı çok sayıda gözenek görülmektedir. Bunlar hava kanalcıklarıdır. Akışkan yatağın tekrar devreye alınabilmesi için yatağın sökülmesi ve bu kütlenin temizlenmesi gerekmektedir.

Yanmanın gerçekleştiği aktif yatak bölgesindeki sıcaklıkları kaydedilerek aglomerasyonun gelişmesi izlenebilir. Normal bir yanma sürecinin süregeldiği bir akışkan yatakta sıcaklıklar belirli bir bant aralığında dalgalanmakta ve aşırı bir sapma

göstermemektedir. Bu koşullar altında yatak basınç düşüşü de belirli bir değer civarında salınmaktadır (Ekinci ve diğ., 1988). Aglomerasyon eğiliminin ortaya çıkması ile birlikte, aktif yatak bölgesindeki tekdüze profilden artı veya eksi yönde önemli sapmalar görülmeye başlar. Dağıtıcı elek yakınındaki bölgede sıcaklık hızla düşerken, üst bölgelerde ani bir sıçrama ve onu izleyen hızlı bir artış görülmektedir. Yine aynı anda yatak basınç düşüşünde gözle de rahatlıkla izlenebilen hızlı bir düşüş yaşanır. Bu çalışmada sıçramanın görüldüğü anda ölçülen sıcaklık “aglomerasyon başlangıç sıcaklığı” olarak kabul edilmiştir. Aglomerasyonun başlayıp gelişmesi, daha önce de belirtildiği gibi, aktif yatak yüzeyinde çıplak gözle gözlenen olaylarla bir paralellik içinde bulunmaktadır.

Çalışmada kullanılan linyit numunelerinin çeşitli koşullarda gerçekleştirilen yanma süreçleri sırasında, aglomerasyon özellikleri de incelenmiştir. Deneyler sırasında, çalışma sıcaklıkları olabildiğince yüksek tutularak, kömürlerin aglomerasyona uğrayabildikleri sıcaklık seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Her kömürün 3 değişik boyuttaki fraksiyonları yakılarak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Tablo 4.3’de sunulmuştur. Tablodaki değerler gözden geçirildiğinde, genel olarak kaba kömür fraksiyonlarının yakıldığı akışkan yataklarda biraz daha yüksek operasyon sıcaklıklarında çalışılabileceği anlaşılmaktadır.

Tablo 4.3, yanma rejiminin türü açısından değerlendirildiğinde, genel olarak “liniyit yüzüşen zengin (YZ)” bir rejimin hakim olduğu dikkati çekmektedir. Bu rejimde, linyit tanecikleri daha çok aktif yatak bölgesinin üst tarafında birikerek yanmaktadır (Nienow ve diğ., 1978; Atakül ve Ekinci, 1990). Burada “yüzüşen zengin” ve “batışan zengin” kavramları linyit taneciklerinin yüzüşen veya batışan olması anlamında kullanılmaktadır. Normal yanmanın süregeldiği akışkan yataklarda aktif yatak içindeki sıcaklıklar rejimden rejime önemli bir fark doğurmazken, yüzüşen zengin yanma koşullarında aktif yatak sıcaklıkları ile serbest bölge sıcaklıkları arasındaki fark, batışan zengin koşullara göre daha azdır. Aglomerasyon koşullarının oluştuğu durumlarda, iki rejim arasındaki fark daha net bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Batışan zengin sistemlerde aglomerasyonun gerçekleşmesi öncesinde aktif yatak içinde sıcaklık dağılımı üniform kalırken, yüzüşen zengin koşullarda önemli bir sıcaklık gradiyenti ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4.3. Linyit numunelerinin akışkan yatak yanma sürecinde aglomerasyon koşulları.

	1.0-1.9 mm		1.9-2.7 mm		2.7-3.3 mm	
Kömür	Sıcaklık*	Aglomer	Sıcaklık*	Aglomer	Sıcaklık*	Aglomer
Beypazarı ¹	870	-	990	YZ	970	YZ
Beypazarı ²	895	-	970	YZ	885	YZ
Çan	1000	-	1050	YZ	1080	BZ
Kısrakdere ³	960	-	1060	YZ	1000	-
Kısrakdere ⁴	1000	-	1080	YZ	1020	YZ
Tunçbilek	940	-	1020	YZ	980	YZ
Yatağan	900	-	1000	-	1040	YZ

*Aglomerasyon başlangıç (aglomerasyon görülmemişse ulaşılan en yüksek) sıcaklık değeri (°C)

YZ : Yüzüşen zengin

BZ : Batışan zengin

¹ Yatak malzemesi olarak 0.6-1.0 mm 'lik kuvars kullanıldığı durum

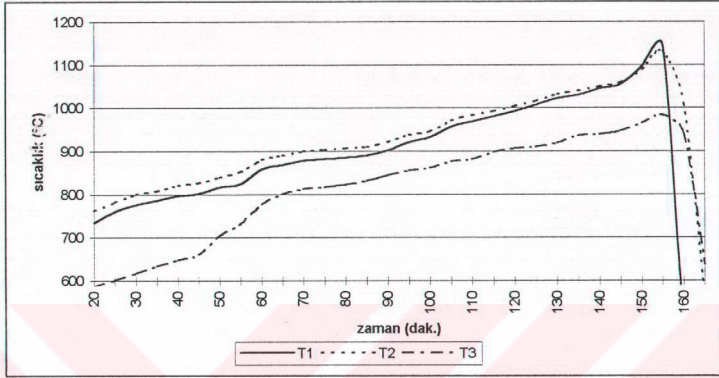
² Yatak malzemesi olarak 1.0-1.5 mm 'lik kuvars kullanıldığı durum

³ Yatak malzemesi olarak 0.6-1.0 mm 'lik kuvars kullanıldığı durum

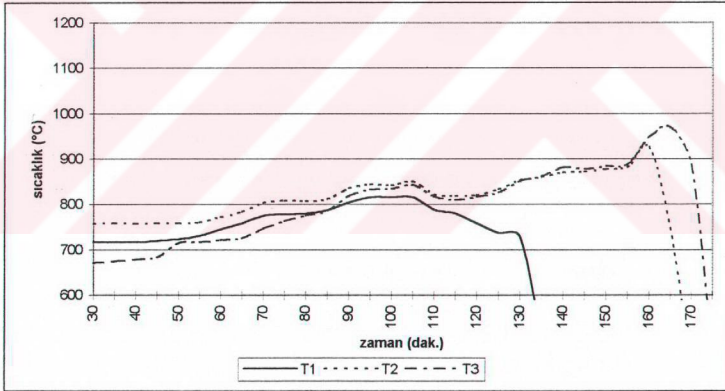
⁴ Yatak malzemesi olarak 0.6-1.0 mm 'lik dolomit kullanıldığı durum

Şekil 4.35 'de bu çalışma sırasında görülen iki farklı rejimin sıcaklık dağılımlarının zamanla değişimi görülmektedir. Şekil 4.35a 0.6-1.0 mm kuvars kumu içeren akışkan yatakta yanan 2.7-3.3 mm boyutundaki Çan linyitine aittir. Şekil 4.35b ise 1.0-1.4 mm kuvars kumu, 2.7-3.3 mm 'lik Beypazarı linyitine aittir. Şekillerde görüldüğü gibi linyit batışan zengin koşullarında aktif yatak içinde sıcaklık gradiyenti oldukça küçüktür. Dağıtıcı elekten itibaren 0.05 m ve 0.15 m 'de ölçülen sıcaklıklar arasındaki fark 15-20°C civarındadır ve aglomerasyon gerçekleşinceye kadar aynı dağılım devam etmektedir. Linyit yüzüşen rejimde ise (Şekil 4.35b) aglomerasyon başlamadan önce aktif yatak içindeki sıcaklık dağılımı bozulmaktadır ve dağıtıcı elek civarında sürekli ve hızlı bir soğuma görülmektedir. Bu aynı zamanda ayrışmanın gerçekleştiğinin bir göstergesidir. Bu rejimde, dikkati çeken bir diğer nokta ise, serbest bölge sıcaklığının seyridir. Serbest bölge sıcaklığı başlangıçta, aktif yatak sıcaklığından çok daha düşük olmasına karşın, aglomerasyon koşulları oluşmaya ve ayrışma başladıktan sonra, aktif

yatak sıcaklığına yaklaşması, hatta daha yükseğe çıkmasıdır. Bu durum ayrışmanın başlaması nedeni ile linyit-yatak malzemesi ikili sisteminin karışma etkinliğinin bozulduğunu göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.35. Aglomerasyonun gelişmesi: a) batışan zengin, b) yüzüşen zengin yanmanın gerçekleştiği akışkan yataklar

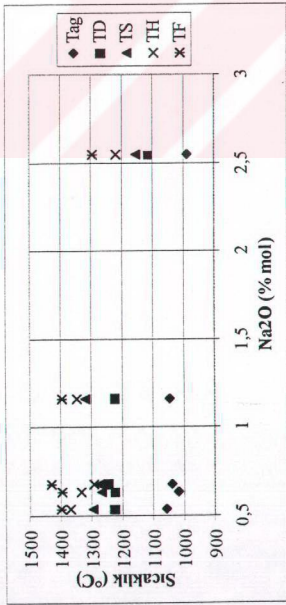
4.8.1. Linyitlerin Aglomerasyon Özellikleri ile Anorganik Yapıları Arasındaki İlişki

Akışkan yataklı yakıcılarda kömürlerin aglomerasyonu olayının oldukça karmaşık (kompleks) bir olay olduğu ve birçok faktör tarafından etkilendiği daha önceki

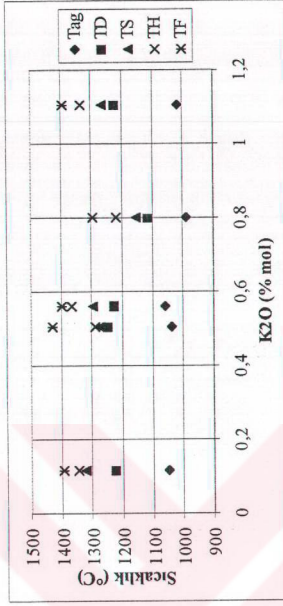
bölümlerde de vurgulanmıştır. Bu faktörler içinde en önemlilerinden birisi küllerin anorganik yapısıdır. Literatürde daha çok anorganik yapı ile ergime özellikleri arasındaki ilişki üzerinde durulmuştur (Sondreal ve Ellman, 1975; Huffmann ve diğ., 1981; Unuma ve diğ., 1986; Gray, 1987). Çalışmalarda ergime sıcaklığı ile anorganik yapı arasındaki ilişkiyi tanımlamak için çeşitli bağıntılar önerilmiştir. Ancak kömür küllerinin özelliklerinin ve davranışlarının birbirinden çok farklı olması nedeniyle, bu bağıntılar genellikle çok dar sınırlar için deneysel verilerle belirli bir uyum içinde olabilmekte ve genelleştirilmemektedir. Bu nedenle, bu bağıntıları kullanarak küllerin kimyasal bileşiminden ergime sıcaklıklarını kabul edilebilir bir doğrulukla tahmin etmek mümkün olmamaktadır. Bunların hemen hemen tümü, asidik oksit oranları arttıkça yumuşama ve ergime sıcaklıklarının yükseldiğini belirtmektedirler (Singer, 1981). Ancak bu konuda bir görüş birliğinden söz etmek mümkün değildir. Bu durumun aglomerasyon özellikleri ile anorganik yapı etkileşimine de yansımaları mümkündür. Bu nedenle, özellikle ticari uygulamalar açısından her linyitin aglomerasyon sıcaklığının akışkan yatakta ve operasyon koşullarında ölçülmesi daha sağlıklı olmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan linyit numunelerinin aglomerasyon özellikleri ve özgül kül sıcaklıkları ile külün anorganik yapısının temel elemanları arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla aglomerasyon sıcaklığı ve özgül kül sıcaklıkları küllerin Na_2O , K_2O , CaO ; MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 ; SO_3 , TiO_2 , $\text{N}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO}$ ve $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2+\text{TiO}_2$ içerikleri ile $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO})/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2+\text{TiO}_2)$ oranının bir fonksiyonu olarak sırasıyla Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43, Şekil 4.44, Şekil 4.45, Şekil 4.46 ve Şekil 4.47 'de grafiğe aktarılmıştır. EK-A 'da ise linyitlerin aglomerasyon sıcaklıklarının küldeki aynı anorganik elemanların ağırlık yüzdeleri ile değişimleri verilmiştir. Na_2O , K_2O , CaO ; MgO bazik oksitler (B), Al_2O_3 , SiO_2 ; TiO_2 ise asidik oksitler (A) olarak nitelendirilmektedir. B/A oranı küllerin anorganik bileşimleri ile ergime özellikleri arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Bu nedenle aglomerasyon sıcaklıklarının bu oran ile değişimi göz önüne alınmıştır.

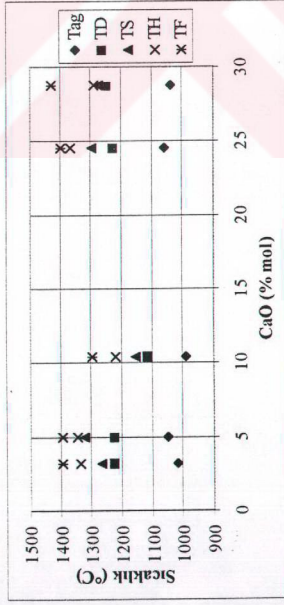
Şekillerden görüldüğü gibi, aglomerasyon sıcaklıkları oksitlerin mol yüzdesine bağlı olarak büyük bir saçılım göstermektedir. Bu nedenle, aglomerasyon eğiliminin anorganik bileşimle herhangi bir sistematik değişiminden söz etmek mümkün değildir.



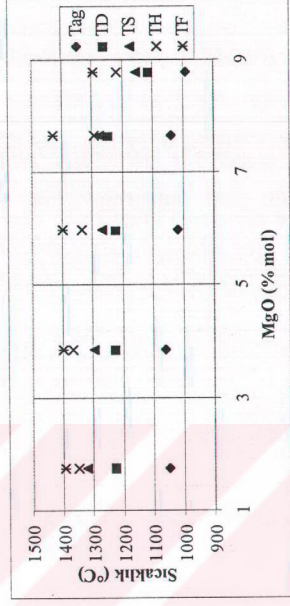
Şekil 4.36. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının Na₂O içeriği ile değişimi



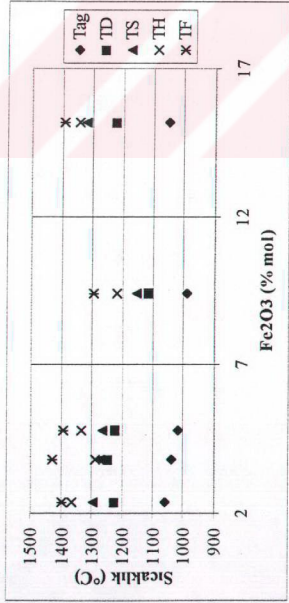
Şekil 4.37. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının K₂O içeriği ile değişimi



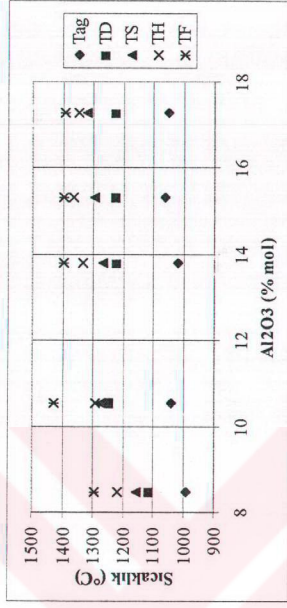
Şekil 4.38. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının CaO içeriği ile değişimi



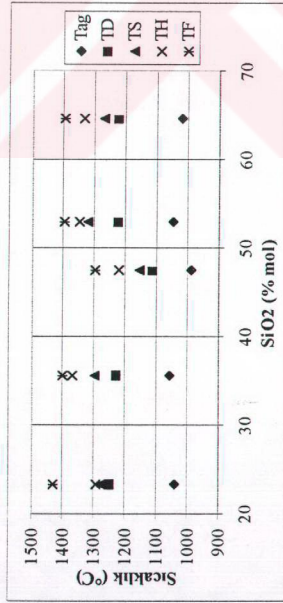
Şekil 4.39. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının MgO içeriği ile değişimi



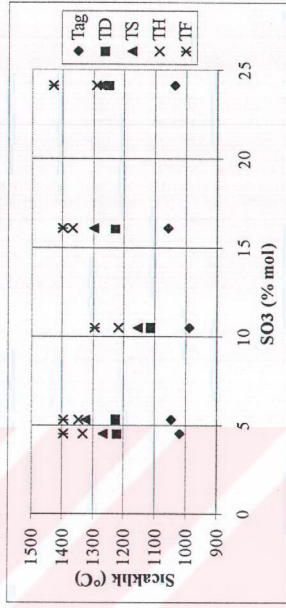
Şekil 4.40. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının Fe_2O_3 içeriği ile değişimi



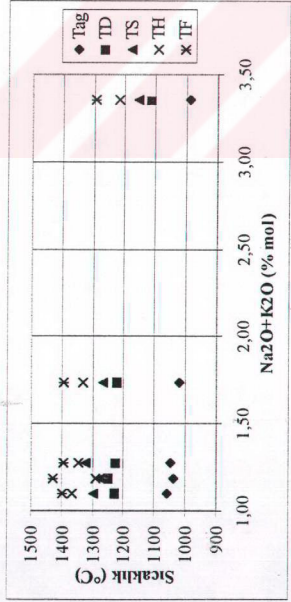
Şekil 4.41. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının Al_2O_3 içeriği ile değişimi



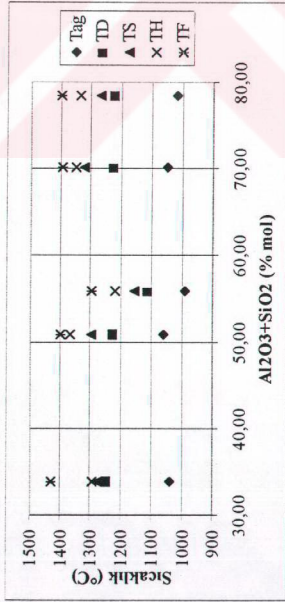
Şekil 4.42. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının SiO_2 içeriği ile değişimi



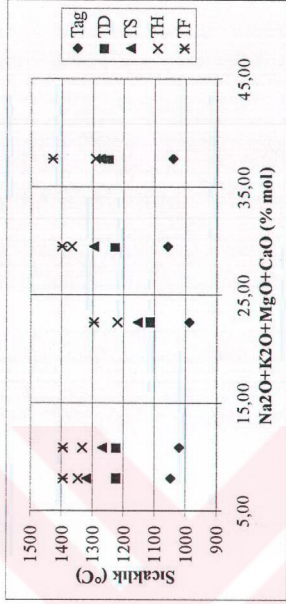
Şekil 4.43. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının SO_3 içeriği ile değişimi



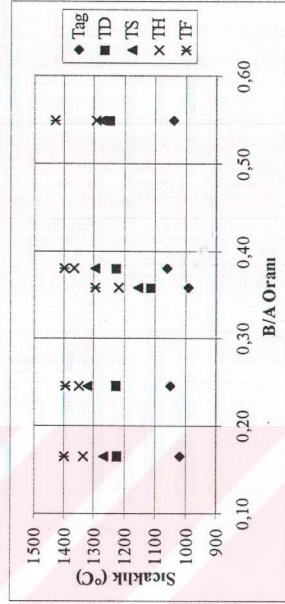
Şekil 4.44. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ içeriği ile değişimi



Şekil 4.46. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ içeriği ile değişimi



Şekil 4.45. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{MgO} + \text{CaO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ içeriği ile değişimi



Şekil 4.47. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının B/A oranı ile değişimi

Genel bir eğilim açısından bakıldığında Na_2O , K_2O ve Fe_2O_3 miktarları düşük (Şekil 4.36, Şekil 4.37 ve Şekil 4.40) ve Al_2O_3 miktarları (Şekil 4.41) yüksek olan linyitlerin aglomerasyon sıcaklıklarının nispeten daha yüksek olduğu dikkati çekmektedir.

Şekiller gözden geçirildiğinde , aglomerasyon sıcaklıkları ile anorganik elemanlar arasındaki etkileşime benzer bir durum göze çarpmaktadır. Yani bu linyitlerin ergime özellikleri ile anorganik bileşim arasındaki ilişki de belli bir formüle oturtulamamaktadır. Küldeki Na_2O , K_2O ve Fe_2O_3 oranları düşük olan linyitlerin hem deformasyon (Şekil 4.36, Şekil 4.37 ve Şekil 4.40) hem de ergime sıcaklıklarının diğerlerine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, Al_2O_3 yüzdesi arttıkça (Şekil 4.41) ergime sıcaklıkları bununla orantılı olarak yükselmektedir. Bu durum aglomerasyon sıcaklığı ile sözü geçen oksitler arasında gözlenen ilişki ile bir paralellik göstermektedir.

Na_2O 'ın külün ergime özelliklerinin yani sıra aglomerasyon özelliklerini de olumsuz yönde etkilemesi şeklinde ortaya çıkan sonuç liteartürdeki çalışma sonuçları ile uyum içinde bulunmaktadır. Bir çok araştırmacı kömür küllerinin sinterleşmesi ve aglomerasyonun başlamasında alkali oksitlerinin önemine işaret etmektedirler (Atakül ve Ekinci, 1989; Manzoori ve Agarwal, 1992). Jung ve Schobert (1992) düşey bir fırın kullanarak yaptıkları sinterleşme çalışmalarında, küldeki Na_2O miktarı arttıkça minimum sinterleşme sıcaklığının düştüğünü ve Na_2O miktarı arttıkça sinterleşen kütlenin boyutunun büyüdüğü gözlemişlerdir. Skrifvas ve diğ. (1994) ise Na_2O miktarı arttıkça küllerin aglomerasyon eğiliminin güçlendiğini bildirmektedirler. Bazı düşük kaliteli linyitlerde, Na_2O içeriğindeki her yüzde birlik bir artışın küllerin yumuşama sıcaklığında yaklaşık 5°C 'lik bir düşüşe neden olduğu belirtilmektedir (Sondreal ve Ellman, 1975). Ancak bu çalışmanın sonuçları, literatürdeki bu sonuçlarla uyusmamaktadır. Bu durumun, sözü edilen çalışmada belirtilen düşüşün deneysel verilerden çok ampirik formüllerin kullanılarak bulunmasından kaynaklanmaktadır. Linyit yakılan akışkan yataklı yakma yakma sistemleri ile yapılan çalışmalarda ise, alkali oksit oranları yüksek olan kömürlerin aglomerasyona daha yatkın olduğunu ortaya koymuştur (Zakkay ve diğ., 1984; Atakül ve Ekinci, 1989; Skrifvars ve diğ., 1994; Manzoori ve Agarwal, 1994).

4.8.2.Aglomerasyon ile Akışkan Yatakta Biriken Bazık Oksit Miktarı İlişkisi

Akışkan yataklı kömür yakma sistemlerinde aglomerasyon eğiliminin, külün bileşiminin yanı sıra, yatakta biriken anorganik maddelerin miktar veya derişiminden de etkilenmesi beklenmektedir. Her ne kadar, uygulamalarda sürekli olarak dışarıya kül çekilse de, aktif yatakta belirli miktarda kül kalmaktadır. Endüstriyel ölçekteki akışkan yataklarda biriken kül yatak malzemesi işlevini de görmektedir.

Tablo 4.4 'de 10^6 cal ısı enerjisi üretmek için kuru bazda yakılması gereken linyit miktarları, ortaya çıkan kül miktarı ve buna bağlı olarak yatakta biriken çeşitli elementlerin miktarları verilmiştir. Bu miktarlar, yanma sonucunda ortaya çıkan külün tümünün yatakta kaldığı varsayımına dayanılarak hesaplanmıştır. Tablodan görüldüğü ve beklendiği gibi, bileşiklerin küldeki yüzde oranları ile akışkan yatakta biriken miktarları her zaman orantılı olmamaktadır. Bunun nedeni kömürlerin kül yüzdelерinin farklı olmasıdır. Örneğin, Tunçbilek linyiti, Çan linyitine kıyasla daha düşük bir sodyum içeriğine sahip olmasına karşın, 10^6 cal enerji üretimi temel alındığında, bu linyitle akışkan yatağa beslenen sodyum oksit miktarı daha fazla olabilmektedir. Dolayısıyla, akışkan yataklı yakıcılarda aglomerasyon olayı incelenirken, yakılan kömürün kül bileşiminin yanı sıra kül miktarı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50 'de linyitlerin aglomerasyon sıcaklığının sırasıyla Na_2O , $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ ve $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ miktarlarıyla değişimi görülmektedir. Bu miktarlar, 10^6 cal ısı enerjisi üretimi temel alınarak hesaplanmıştır. Bu oksitler bazık oksitler olarak isimlendirilmekte ve küllerin ergime ve aglomerasyon özelliklerini önemli ölçüde etkiledikleri konusunda yaygın bir görüş birliği bulunmaktadır. Şekillerde görüldüğü gibi yatağa beslenen veya biriken Na_2O , $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ve $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı arttıkça, aglomerasyon eğilimi artmaktadır. Ancak her üç şekildeki verilerde de sistematik bir değişim göze çarpmamaktadır. Bunun daha çok linyitlerden üçünün kül içeriklerinin birbirine çok yakın olmasından kaynaklandığı görülmektedir. Nitekim veriler çok dar bir alanda toplanmıştır. Tablo 4.4 ve Şekil 4.48, Şekil 4.49 ile Şekil 4.50 bir arada gözden geçirildiğinde, dikkati çeken diğer bir nokta da gerek içerdiği kül miktarı, gerekse küldeki yüksek bazık oksit içeriği nedeniyle Beypazarı linyitinin diğer linyitlerden belirgin bir şekilde ayrılmış olmasıdır. Bu linyit, incelenen linyitler içerisinde en kötü

aglomerasyon özelliklerine sahip bulunmaktadır. Kuzey Dakota linyitlerinin yakıldığı akışkan yataklı yakıcıda aglomerasyon eğiliminin zamanla artma eğilimi gösterdiği gözlenmiş ve bunun yatakta biriken sodyum miktarının artmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Zakkay ve diğ., 1984).

Tablo 4.4. Linyit kullanılarak 10^6 kaloriklik ısı enerjisinin üretilmesi sonucunda akışkan yatakta biriken çeşitli bileşiklerin maksimum miktarları.

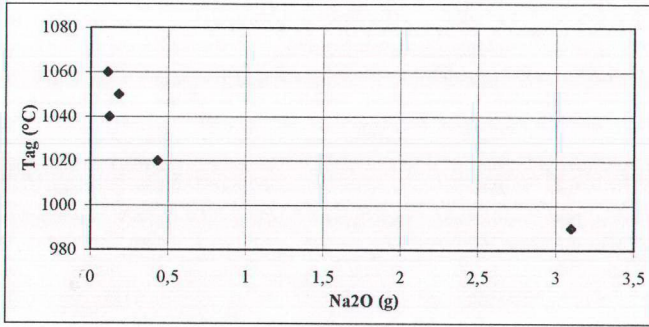
Linyit	Gerekli Kömür (g)	Kül Mik. (g)	Na ₂ O Mik. (g)	K ₂ O Mik. (g)	CaO Mik. (g)	MgO Mik. (g)	Na ₂ O+K ₂ O Miktarı (g)	Na ₂ O+K ₂ O+CaO+MgO+Fe ₂ O ₃ Miktarı (g)
Beypazarı	290	144.0	3.10	1.47	11.30	6.83	4.57	52.0
Çan	162	20.5	0.18	0.26	0.68	0.17	0.21	7.0
Kısrakdere	174	23.6	0.11	0.18	4.57	0.51	0.28	6.6
Tunçbilek	210	77.5	0.43	1.13	1.93	2.60	1.56	14.4
Yatağan	159	20.0	0.12	0.13	5.54	0.86	0.25	7.4

Benzer bir değerlendirme, aynı miktarlarda kül temel alınarak da yapılabilir. Böyle bir değerlendirme, aglomerasyon sıcaklığının küledeki çeşitli oksitlerin ağırlık yüzdesi ile değişmesi anlamına gelmektedir. Bu ise daha önceki bölümlerde incelenmiştir (Bak. Ek A).

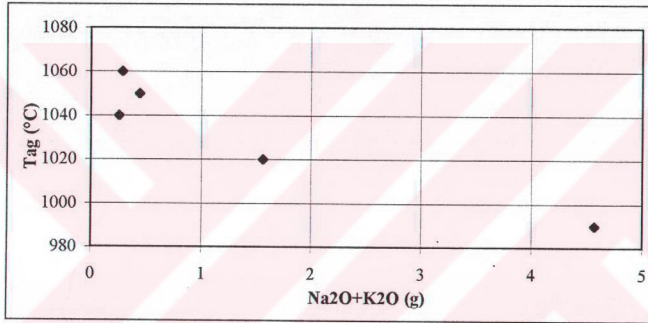
4.8.3. Aglomerasyon ile Külün Özgül Sıcaklıkları Arasındaki İlişki

Aglomerasyon olayı, kömür/kül ve/veya yatak malzemesi taneciklerinin birbirlerine yapışması şeklinde gerçekleşen bir olaydır. Bu nedenle, kömür yakan akışkan yataklarda aglomerasyon olayı incelenirken ilk aklı gelen özelliklerden birisi de aglomerasyonla küllerin ergime özellikleri veya sıcaklıkları arasındaki ilişki olmuştur. Pulverize kömürün sinterleşme mekanizması bir çok araştırmanın konusu olmuştur (Nowok ve diğ., 1990; Dawson ve Brown, 1992; Manzoori ve Agarwal, 1992). Kömürün genellikle 1300-1400°C gibi yüksek sıcaklıklarda yakıldığı göz önüne alınarak, bu çalışmalarda sinterleşmeye daha çok külün anorganik yapısındaki dönüşümler açısından bakılmıştır. Basu ve Sarka (1983), bir dilatometre kullanarak külün sinterleşme sıcaklığını ölçmüş ve bundan hareket ederek akışkan yatakta aglomerasyon olayını incelemiştir. Buna karşın, kömür yakan akışkan yataklarda aglomerasyon olayı ile ilgili çalışmalar sınırlı kalmıştır.

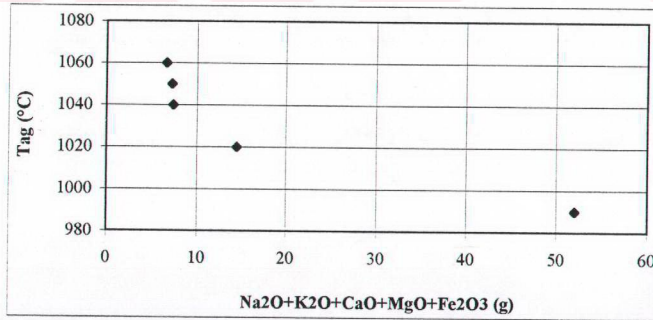
Bu çalışmada kullanılan linyitlerin akışkan yatak koşullarında ölçülen aglomerasyon sıcaklıkları ile ergime özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemek için, linyitlerin özgül



Şekil 4.48. Aglomerasyon sıcaklığının akışkan yatakta biriken Na_2O miktarı ile değişimi (Temel 10^6 cal enerji üretimi).



Şekil 4.49. Aglomerasyon sıcaklığının akışkan yatakta biriken $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ miktarı ile değişimi (Temel 10^6 cal enerji üretimi).



Şekil 4.50. Aglomerasyon sıcaklığının akışkan yatakta biriken $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı ile değişimi (Temel 10^6 cal enerji üretimi).

sıcaklıkları ölçülmüştür. Linyitlerin aglomerasyon sıcaklığı (T_{Ag}) ile özgül sıcaklıkları Tablo 4.5 'te verilmiştir. Bu tabloda aglomerasyon sıcaklıklarının yanı sıra, söz konusu kömürlerin kül deformasyon (T_D), yumuşama (T_S), yarı küreselleşme (T_H) ve ergime sıcaklıkları (T_F) ile aglomerasyon sıcaklıkları arasındaki farklar da tabloya dahil edilmiştir. Burada, $\Delta T_1 = T_D - T_{Ag}$, $\Delta T_2 = T_S - T_{Ag}$, $\Delta T_3 = T_H - T_{Ag}$, $\Delta T_4 = T_F - T_{Ag}$ dir.

Tablo 4.5. Linyitlerin aglomerasyon sıcaklıkları ile özgül sıcaklıkları arasındaki fark ($^{\circ}\text{C}$).

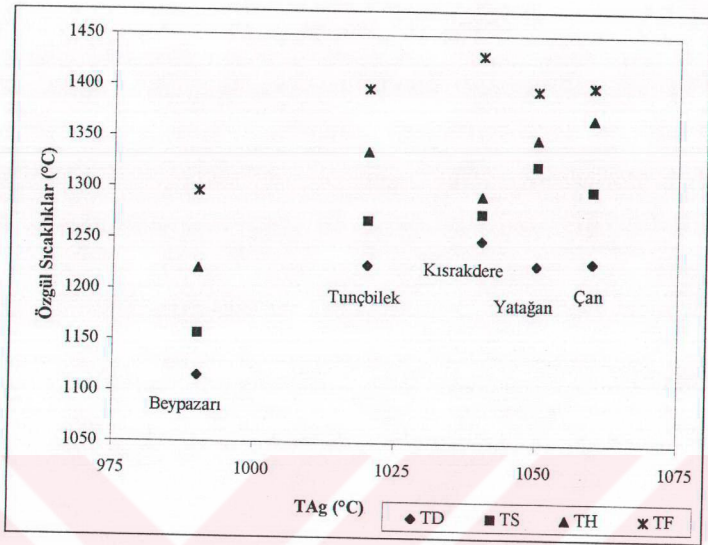
Kömür	T_{Ag}	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_4
Beypazarı	990	125	166	230	306
Çan	1050	175	272	298	346
Kısrakdere	1060	168	238	308	340
Tunçbilek	1020	204	248	315	377
Yatağan	1040	209	235	252	390

Akışkan yatağın operasyon koşullarına bağlı olarak, kömürün aglomerasyon sıcaklığı değişebilmektedir. Bu çalışmada incelenen kömürlerin aglomerasyon sıcaklıklarında, çalışmanın koşullarına bağlı olarak ortaya çıkan değişime 100°C ' a varmıştır. Tablo 4.5 'deki deneysel veriler, özgül sıcaklıklar ile aglomerasyon sıcaklıkları arasında büyük farklar olduğunu ortaya koymaktadır. Kömürlerin aglomerasyon sıcaklıkları ile kül deformasyon sıcaklıkları arasındaki fark (ΔT_1) $125\text{-}209^{\circ}\text{C}$ aralığında değişirken, ergime sıcaklıkları ile aglomerasyon sıcaklıkları arasındaki fark (ΔT_4) ise $306\text{-}390^{\circ}\text{C}$ 'a kadar çıkmıştır. Akışkan yatakda, yanmakta olan bir kömür taneciğinin sıcaklığının ölçülen ortam sıcaklığından yaklaşık olarak $100\text{-}150^{\circ}\text{C}$ kadar yüksek olduğu öne sürülmektedir (Park, 1989; Lingewile ve diğ., 1994). Tablo 4.5 'deki değerler bu açıdan gözden geçirildiğinde, bazı kömürler için aglomerasyon ve deformasyon sıcaklıklarının birbirine yakın olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin, Beypazarı ve Çan kömürlerinin ΔT_1 değerleri sırasıyla 125 ve 175°C 'dir. Bu durum, bu kömürler için aglomerasyonun kül deformasyon sıcaklıklarına yakın bir seviyede başlayabildiğini göstermektedir. Diğer kömürlerde ise aglomerasyon, kül deformasyon sıcaklıklarının altındaki sıcaklıklarda başlayabilmektedir. Ancak, yukarıda da belirtildiği gibi, incelenen linyitlerin tümünde aglomerasyon sıcaklığı ergime sıcaklığının hayli altında kalmaktadır. Tanecik sıcaklığının ortam sıcaklığından 150°C daha yüksek olduğu varsayılırsa, ergime sıcaklığının tanecik sıcaklığından da $200\text{-}250^{\circ}\text{C}$ kadar yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Kömürlerin ergime ve aglomerasyon sıcaklıkları arasında

ortaya çıkan bu fark, aglomerasyonun başlamasına neden olan fiziksel ve kimyasal süreçlerin kül ergime sıcaklığına ulaşmadan başladığı yönündeki görüşleri desteklemektedir (Siegel, 1976; Stallmann ve Neavel, 1980; Atakül ve Ekinci, 1989; Manzoori ve Agarwal, 1994;). Kömür tanecikleri içinde ortaya çıkan ve yüzeyde biriken viskoz sıvıların, aglomerasyonun başlamasına neden olan temel mekanizmalardan biri olduğu bilinmektedir. Bu sıvıların yüzeyde biriktiği noktalar taneciklerin birbirine yapışması için birer bağlantı noktası görevi yaptıkları anlaşılmaktadır. Huffinan ve diğ. (1981) deformasyon sıcaklıkları altındaki sıcaklıklarda kömürün kısmen ergidiğine işaret etmektedir. Sinterleşmenin düşük sıcaklıklarda başlamasının, önemli ölçüde sodyum-alüminosilikat bileşiklerini içeren ve düşük sıcaklıklarda ortaya çıkan sıvı fazdan kaynaklandığı belirtilmektedir (Jung ve Schobert., 1992).

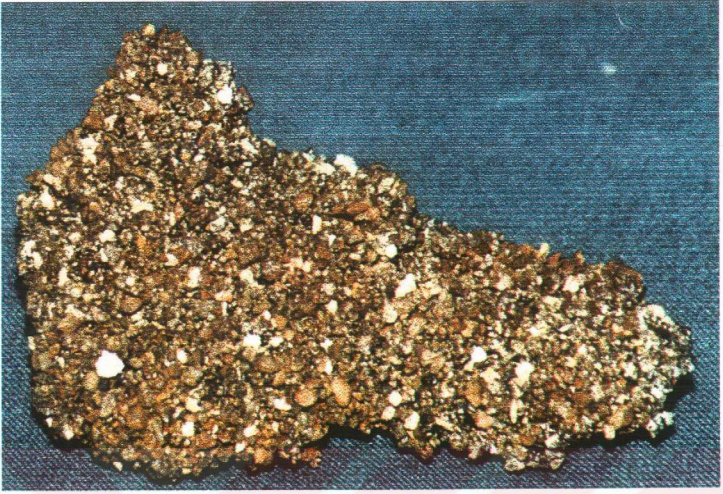
Şekil 4.51 'de linyitlerin aglomerasyon sıcaklıkları, özgül kül sıcaklıklarına karşı grafiğe geçirilmiştir. Bu grafikten de görüldüğü gibi, özgül kül sıcaklıkları yüksek olan linyitlerin aglomerasyon sıcaklıkları görece daha yüksek olmaktadır. İncelenen linyit numuneleri içinde en düşük özgül sıcaklıklara sahip olan Beypazarı linyiti yine en düşük aglomerasyon sıcaklığına sahip bulunmaktadır. Buna karşın, özgül kül sıcaklıkları daha yüksek olan Çan ve Yatağan linyitlerinin aglomerasyon sıcaklıkları daha yüksek olmuştur. Aglomerasyon ve kül sıcaklıkları arasında görece düzgün bir ilişki görülmesine karşın bu ilişkiyi daha sağlıklı bir şekilde tanımlayabilmek için daha fazla linyit numunesinin incelenmesi gerekmektedir.

Şekil 4.51 ve Tablo 4.5 'deki veriler bir arada gözden geçirildiğinde, her ne kadar yüksek özgül sıcaklıklarına sahip olan linyitlerin aglomerasyon eğiliminin zayıf olduğu görülse de, özgül sıcaklıklarından hareket edilerek, aglomerasyon sıcaklığını hassas bir şekilde belirlemenin mümkün olamayacağı anlaşılmaktadır. Özgül kül sıcaklıkları ile aglomerasyon sıcaklıkları arasındaki fark bunun bir göstergesidir. Tanecik sıcaklığı kül deformasyon sıcaklığına ulaştığında, kül yapışma özelliği kazanmakta ve ergime sıcaklığının çok altındaki sıcaklıklarda aglomerasyonun başlamasına neden olmaktadır (Moilanen ve diğ., 1989).



Şekil 4.51. Linyitlerin aglomerasyon sıcaklıkları ile özgül kül sıcaklıkları arasındaki ilişki.

Linyitlerin akışkan yataкта yanması sırasında oluşan aglomere kütleler fiziksel görünüş açısından farklılıklar göstermektedir. Şekil 4.52 'de linyit numunelerinin yanması sırasında oluşan kütlelerin fotoğrafları görülmektedir. Bütün linyitler, yatak malzemesi olarak kuvars kumu içinde yakılmışlardır. Kırakdere linyiti ise hem kum hem de dolomit içinde yakılmıştır. Fotoğraflardan da anlaşılacağı üzere bu kütleler ağırlıklı olarak kül tanecikleri olmak üzere, kül ve yatak malzemesi (kum veya dolomit) taneciklerinden oluşmaktadır. Çok az olmakla beraber, yer yer yarı kok taneciklere de rastlanmaktadır. Kum/dolomit tanecikleri kül taneciklerinin yüzeyine yapışmış durumdadır ve gözle görülebilmektedir. Kum/dolomit taneciklerinde herhangi bir fiziksel değişme görülmemektedir. Bir bütün olarak, kütle süngerimsi bir görüntü arz etmektedir. Yüzeyde herhangi bir ergime belirtisi görülmemektedir. Ancak daha sonraki bölümlerde sunulan taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğraflarından görüleceği gibi, aglomere kütlelerin iç kısımlarında yer yer ergimiş bölgelere de rastlanabilmektedir. Bu tür kütleler çok sağlam bir fiziksel yapıya sahiptirler. Bazıları ancak bir çekiç darbesi ile kırılabilir. Dolomit içeren akışkan yataқта Kırakdere linyitinin yakılması sırasında ortaya çıkan aglomere kütlelerin (Şekil 4.52f)

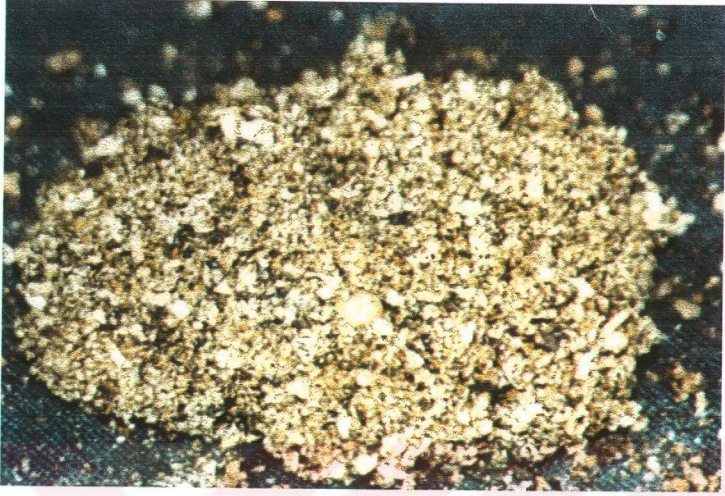


(a)

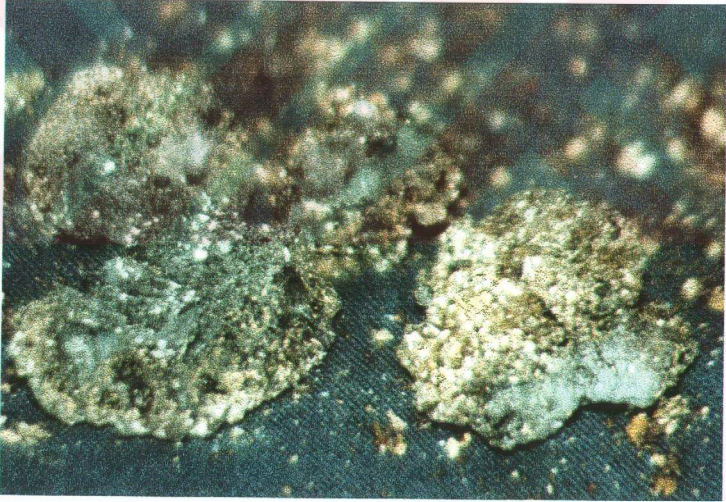


(b)

Şekil 4.52. Linyit numunelerinin akışkan yatak yanma sürecinde oluşan aglomere kütlelerin fotoğrafları: a)Beypazarı, b)Çan, c)Kısrakdere (YM: kum), d)Kısrakdere (YM: dolomit), e)Tunçbilek ve f)Yatağan.



(c)



(d)

Şekil 4.52. Linyit numunelerinin akışkan yatak yanma sürecinde oluşan aglomere kütlelerin fotoğrafları: a)Beypazarı, b)Çan, c)Kısrakdere (YM: kum), d)Kısrakdere (YM: dolomit), e)Tunçbilek ve f)Yatağan. (devam)



(e)



(f)

Şekil 4.52. Linyit numunelerinin akışkan yatak yanma sürecinde oluşan aglomere kütlelerin fotoğrafları: a)Beypazarı, b)Çan, c)Kısırakdere (YM: kum), d)Kısırakdere (YM: dolomit), e)Tunçbilek ve f)Yatağan. (devam)

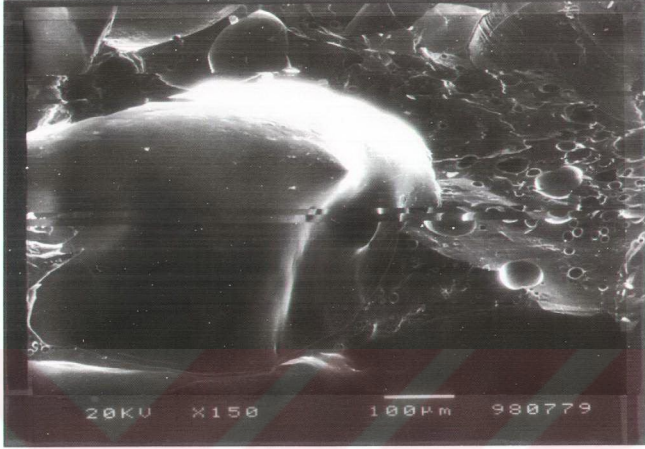
yüzeyinde ergimiş bölgeler göze çarpmaktadır. Bu tür kütleler süngerimsi bir görünümünden ziyade, volkanik bir kütleyi andırmaktadır ve kırılması oldukça güçtür.

Aglomerasyonun gerçekleştiği akışkan yataklarda, büyük aglomere kütlelerin yanı sıra, çok daha küçük boyutlarda, çoğunlukla birbirine yapışmış kum taneciklerinden oluşmuş, aglomere kütleler de görülebilmektedir. Ancak bu kütleler çok zayıf fiziksel darbelerle dağılabilmektedir.

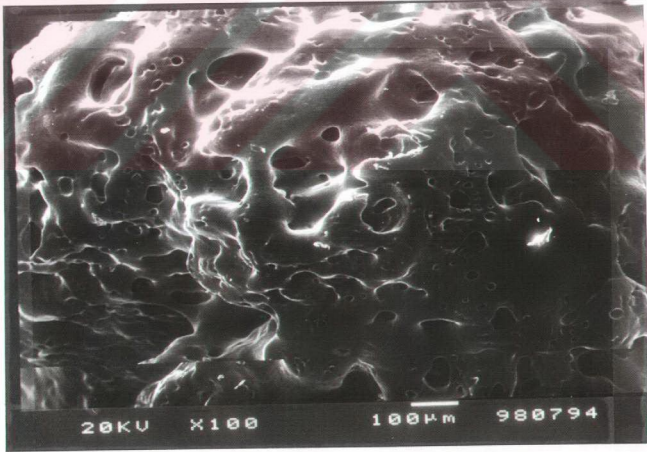
Yatak malzemesinin aglomerasyon olayındaki rolünü belirlemek amacıyla, yatak malzemesi olarak kullanılan kum akışkan yatakta, LPG yakılarak 1200°C 'a kadar ısıtılmıştır. Bu sıcaklıkta kum tanecikleri arasında herhangi bir yapışma/topaklanma belirtisi görülmemiş ve yatakta normal akışkanlaşma sürdürülmüştür. Bu sonuç, linyit yakan akışkan yataklarda, kum tanecikleri arasında görülen yapışma veya topaklanmanın külde bulunan ve düşük ergime sıcaklığına sahip olan bazı anorganik maddelerin buharlaşması ve yatak malzemesi yüzeyinde birikmesinden kaynaklanmış olabileceğini ortaya koymaktadır (Manzoori ve diğ., 1992; Skrifvars ve diğ., 1994).

4.9. Aglomere Kütlelerin Elektronmikroskopik İncelenmesi

Bir önceki bölümde akışkan yatakta oluşan aglomere kütlelerin fiziksel görünüşleri incelenmiş ve bunlardan bazılarının oldukça sağlam bir fiziksel yapıya sahip oldukları belirtilmişti. Bu kütlelerin yapılarını daha yakından görmek amacıyla akışkan yatakta oluşan aglomere kütlelerden bazı örnekler seçilerek elektronmikroskopik incelemeye tabi tutulmuşlardır. İnceleme, taramalı elektron mikroskop (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Linyit numunelerine ait aglomere kütlelerin SEM fotoğrafları Şekil 4.53 'de görülmektedir. Bu fotoğraflar, Şekil 4.52 'de gösterilen aglomere kütlelerin fotoğrafları ile Şekil 4.53 'de gösterilen orijinal linyitlerin SEM fotoğraflarından tümü ile farklı bir görüntü sergilemektedir. Farklı ölçülerde de olsa, bütün aglomere kütlelerin yüzeylerinde ergimenin gerçekleştiği görülmektedir. Özellikle Beypazarı, Çan ve Kırakdere linyitlerine ait kütlelerde bu durum çok daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Yüzeyde görülen çukurcuklar ve mağaramsı oluşumlar, uçucu maddeler ve yarıkok taneciklerinin yanması ve yapıyı terk etmesi sonucunda ortaya çıkan oluşumlardır. Kömür yakılan akışkan yataklarda aglomerasyon başladıktan sonra, aktif yatak sıcaklığının adeta bir sıçrama yaptığı ve

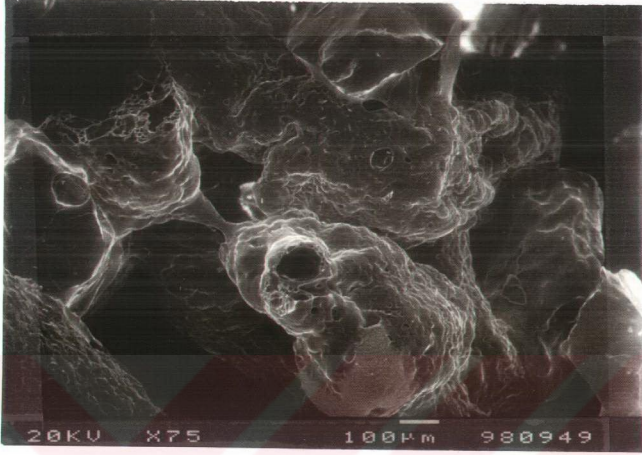


(a)

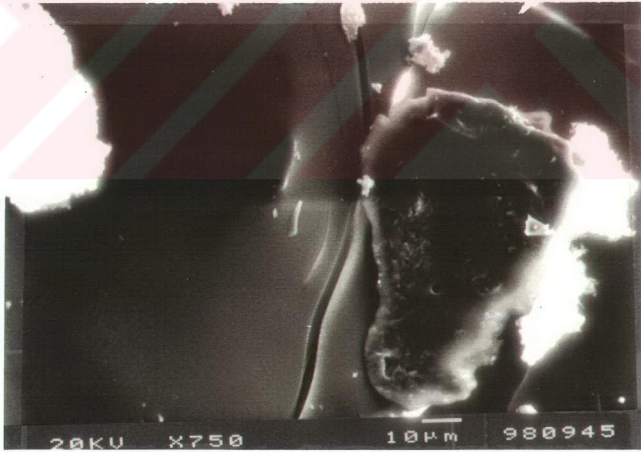


(b)

Şekil 4.53. Linyit yakan akışkan yataкта oluşan aglomere kütlelerin SEM fotoğrafları: a)Beypazarı, b)Çan, c)Tunçbilek, d)Yatağan.



(c)

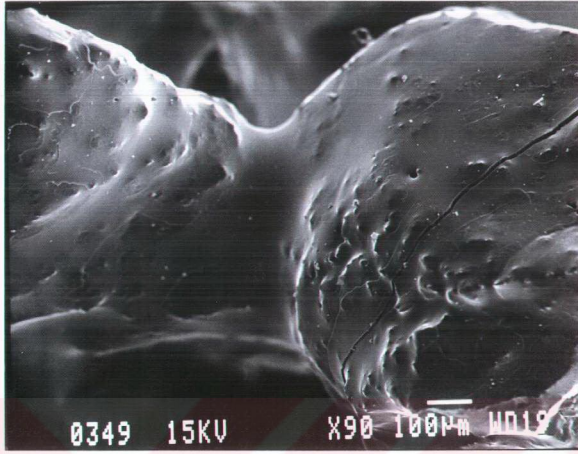


(d)

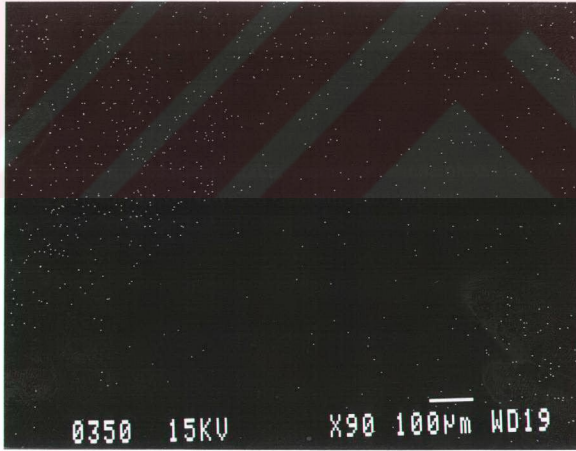
Şekil 4.53. Linyit yakan akışkan yataкта oluşan aglomere kütlelerin SEM fotoğrafları: a)Beypazarı, b)Çan, c)Tunçbilek, d)Yatağan. (devam)

hızla yükseldiği daha önce de belirtilmişti. Bu sıçramadan sonra sıcaklık operasyon koşullarına bağlı olarak, 75-150°C 'a kadar daha yükselmektedir. Başka bir ifade ile aglomerasyon tümü ile gerçekleştiğinde, aglomere kütlelerin sıcaklığı ölçülen aglomerasyon başlama sıcaklığından çok daha yüksek olabilmektedir. Böylece, kül deformasyon sıcaklığı civarında küllerin yapışma özelliği kazanması ve birbirine yapışması ile başlayan aglomerasyon süreci, çeşitli aşamalardan geçerek ergime aşamasına kadar ulaşabilmektedir. Şekil 4.53 'deki SEM fotoğrafları bu ileri aşamayı göstermektedir. Linyitlerin 1480°C civarında flaş yakma koşullarında yakılması sırasında, yanma derecesi ilerledikçe kömür taneciklerinin yüzeyinde benzer şekilde kısmı ergime gözlenmiştir. Yanmanın ilk ilk aşamalarında oluşan kül tanecikleri belirli bir şekilde gözlenirken, yanmanın son aşamalarında yüzeydeki kül taneciklerinin ergiyerek birbirine yapıştığı ve üniform ve opak bir hal aldığı gözlenmiştir (Quann ve Sarofim, 1986). Daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen kömürlerin flaş ısıtma sürecinde de benzer olaylar gözlenmiştir (Davies ve Hooper, 1985).

Beypazarı ve Çan linyitlerine ait kütlelerin yüzeyinde, Şekil 4.53a ve Şekil 4.53b, ergimeden dolayı daha üniform ve opak bir yapı görülmektedir. Buna karşın Kırakdere, Tunçbilek ve Yatağan linyitlerine ait aglomere kütlelerde daha farklı bir görüntü dikkati çekmektedir. Özellikle Kırakdere ve Tunçbilek linyitlerinde, Şekil 4.53c ve Şekil 4.53d, kütleli oluşturan kül tanecikleri ve bunları birbirine bağlayan köprüler daha net bir şekilde görülebilmektedir. Benzer köprüler Çan linyitinde de görülmektedir ancak kütle bir bütün olarak daha üniform bir görüntü sergilemektedir. Bu köprüler, linyitlerin yanması sırasında akışkan yatakta görülen aglomerasyon olayının temel olarak, kül tanecikleri arasında oluşan anorganik madde köprüleri vasıtasıyla birbirine bağlanması ile başladığını göstermektedir. Aglomerasyonun ileri aşamalarında ise ergimenin de katkısıyla tanecikler arasındaki köprülerin adeti artmakta ve tek tek taneciklerden bütün bir kütle oluşmaktadır. Bu fotoğrafların ortaya koyduğu durum, pulverize kömür taneciklerinin sinterleşmesi ile sabit yatak koşullarında kömür taneciklerinin sinterleşmesi/aglomerasyonu konusunda yapılan çalışmaların sonuçları ile uyum içinde görülmektedir. Bu çalışmaların ortak noktası aglomerasyon mekanizmasının temel olarak, kömür taneciklerinin içerdiği anorganik maddelerin ergiyerek yüzeye ulaşmaları, buralarda birikmeleri ve yapışma özelliği olan noktalar oluşturmaları şeklinde gerçekleşmekte olduğudur. Özellikle alkali ve



(SEM)



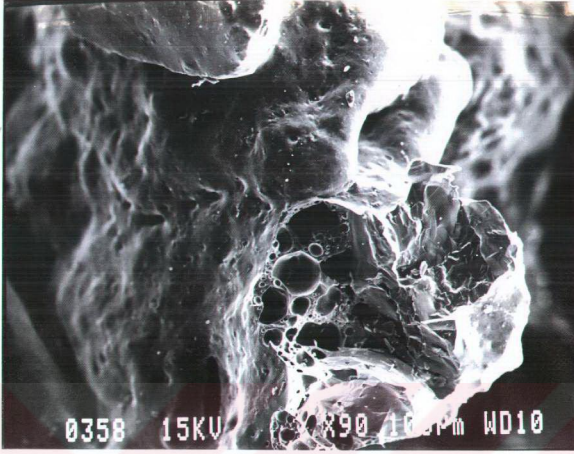
(Na)

Şekil 4.54. Çan linyitinin akışkan yataкта yanması sırasında oluşan aglomere kütleinin SEM fotoğrafı ve Na ve Ca elementlerinin dağılımı.



(Ca)

Şekil 4.54. Çan linyitinin akışkan yataкта yanması sırasında oluşan aglomere kütle nin SEM fotoğrafı ve Na ve Ca elementlerinin dağılımı. (devam)



(SEM)



(Na)

Şekil 4.55. Tunçbilek linyitinin akışkan yataкта yanması sırasında oluşan aglomere kütenin SEM fotoğrafı ve Na,K ve Ca elementlerinin dağılımı.

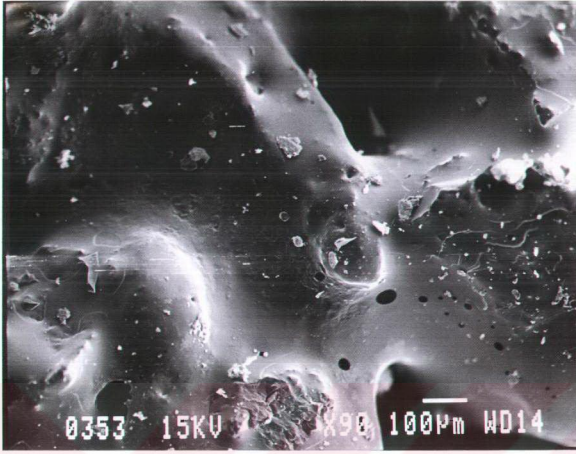


(K)

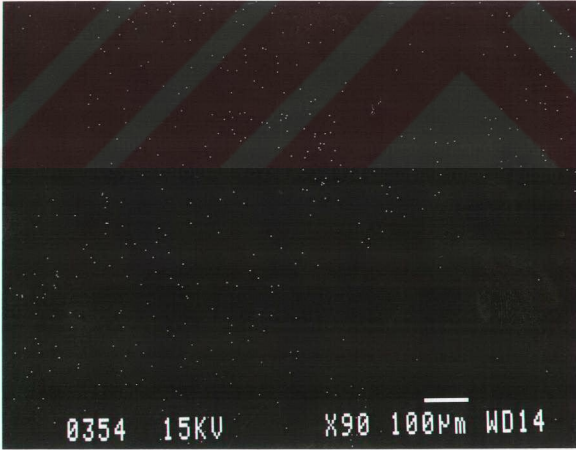


(Ca)

Şekil 4.55. Tunçbilek linyitinin akışkan yataкта yanması sırasında oluşan aglomere kütlenin SEM fotoğrafı ve Na, K ve Ca elementlerinin dağılımı. (devam)



(SEM)

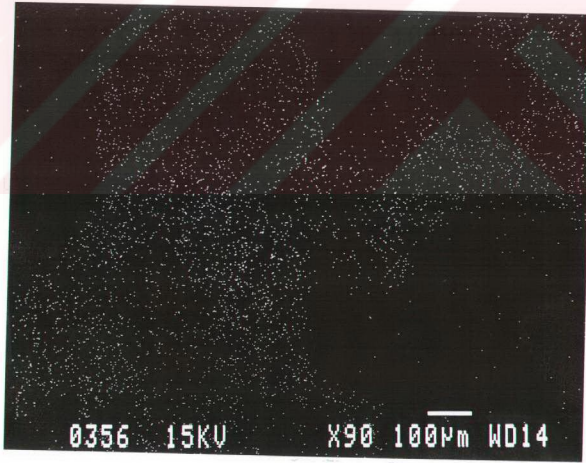


(Na)

Şekil 4.56. Yatağan linyitinin akışkan yataкта yanması sırasında oluşan aglomere kütlenin SEM fotoğrafı ve Na,K ve Ca elementlerinin dağılımı.



(K)



(Ca)

Şekil 4.56. Yatağan linyitinin akışkan yarıtahta yanması sırasında oluşan aglomere kütlenin SEM fotoğrafı ve Na, K ve Ca elementlerinin dağılımı. (devam)

toprak alkali oksitlerin silisyum ve alüminyumla reaksiyona girerek düşük sıcaklıklarda ergiyen alüminosilikatların ergimeyi hızlandırdığı sanılmaktadır (Siegel, 1976; Nowok ve diğ., 1990; Jung ve Schobert, 1992; Skrifvars ve diğ., 1994; Moilenan ve diğ., 1989).

Şekil 4.53 'de verilen orijinal linyitlerin SEM fotoğrafları ile Şekil 4.33 'deki fotoğraflar bir arada incelendiğinde, akışkan yataklarda gerçekleşen yanma sürecinde ilk ve son adımlar görülmektedir. Orijinal linyitlerin yüzeyinde görülen tanecikli ve üniform yüzey oluşumu, yanma sonucunda tümü ile değişmiştir. Aglomerasyonun gerçekleşmesi sonucunda yapı volkanik bir kütle görünümünü kazanmıştır.

Kömürlerin anorganik yapısında bulunan ve ergime özelliklerini en fazla etkiledikleri öne sürülen elementler arasında sodyum, potasyum ve kalsiyum yer almaktadır. Bu üç elementin linyitlerin aglomerasyonda oynadıkları rol hakkında ip uçları elde etmek amacıyla, X - ışını yöntemi kullanılarak bazı aglomere kütlelerde bu elementlerin kalitatif dağılımı incelenmiştir. Çan, Tunçbilek ve Yatağan linyitlerine ait aglomere kütleler için yapılan ölçümlerin sonuçları sırasıyla Şekil 4.54, Şekil 4.55 ve Şekil 4.56 'da verilmiştir. Bu şekillerde incelenen aglomere kütlelerin SEM fotoğrafları da yer almaktadır. Çan linyitine ait aglomere kütledeki potasyum cihazın ölçüm hassasiyeti altında kaldığı için ölçülememiştir. Seçilen kütlelerin tümü aglomerasyonun ileri aşamasında oluşan kütlelerdir ve yüzeylerinde ergime gerçekleşmiştir. Şekiller gözden geçirildiğinde, her üç örnekte de sodyumun kütle yüzeyinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Potasyum ve kalsiyum ise görece daha heterojen bir dağılımı sergilemektedirler. Çan ve Yatağan linyitlerinde kalsiyum derişiminin bazı bölgelerde belirgin şekilde daha yüksek olmasına karşın, Tunçbilek linyitinde kalsiyum derişimi hem daha düşük hem de noktadan noktaya daha az değişim göstermektedir. Aglomere kütlelerin yüzeyinde bu üç elementin dağılımında aşırı bir derişim farklılaşmasının görülmemesi, ergimenin tüm tanecik yüzeyinde gerçekleştiğini göstermektedir. Bu durum, aglomerasyonun noktasal olarak başladığı görüşü ile çelişiyor görülebilir. Ancak, incelenen numunelerde aglomerasyonun oldukça ileri bir aşamada olduğu göz önüne alınırsa, noktasal olarak başlayan olayın hızla ilerleyerek ergime aşamasına ulaştığı ve yapışan tanecikleri bir bütüne dönüştürdüğü dikkate alınmalıdır.

BÖLÜM 5

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1.Genel Sonuçlar

Çalışmada elde edilen deneysel bulgulardan aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır.

1. İncelenen linyitlerin aglomerasyon sıcaklıkları, genel olarak ergime sıcaklıkları ile orantılı olmuştur. En düşük aglomerasyon sıcaklığına Beypazarı linyiti, en yüksek aglomerasyon sıcaklığına ise Yatağan ve Çan linyitleri sahip olmuştur.
2. Linyit yakan akışkan yataklarda kül ergime sıcaklıklarının altında aglomerasyon görülebilmektedir. İncelenen kömürlerin aglomerasyon sıcaklıkları kül deformasyon sıcaklıklarından, 125-200°C, ergime sıcaklıklarından ise 300-390°C kadar daha düşük olabilmektedir. Ancak yanan taneciğin sıcaklığı göz önüne alındığında bazı linyitlerin (Beypazarı ve Çan gibi) kül deformasyon sıcaklıklarına yakın sıcaklıklarda aglomerasyona uğrayabildikleri anlaşılmaktadır.
3. Linyitlerin akışkan yataklarda yanma süreçleri, kimyasal özelliklerinden olduğu kadar fiziksel özelliklerinden de etkilenmektedir. Özellikle linyitlerin kırılabilirliği yanma rejimini önemli ölçüde etkilemektedir. Kırılabilirlik arttıkça linyit taneciklerinin akışkan yataktan sürüklenmesi de artmakta ve yanma rejimi bozulmaktadır. Linyitlerin serbest bölgeye sürüklenme hızı kırılabilirlikle doğru orantılı olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda incelenen linyitlerin kırılabilirliği artmaktadır. Bu durum, sürüklenen kömür miktarının artmasına ve yanma veriminin düşmesine neden olmaktadır. Kırılabilirliği yüksek olan linyitlerin yanması sırasında, serbest bölgede yanma yoğunluğu artmaktadır.
4. Akışkan yataklı sistemlerde önemli bir sorun olan ve aglomerasyon sürecinin bir ön aşaması niteliğini taşıyan ayrışma olayı, linyit yakan akışkan yataklarda operasyon

koşullarına bağlı olarak görülebilmektedir. Ayrışmayı etkileyen en önemli faktörler, linyit ve yatak malzemesinin tanecik boyutu, linyitin kırılabilirliği, linyit ve yatak malzemesinin yoğunlukları ile operasyon hızıdır. Uygun linyit boyutu ve operasyon hızının seçilmesiyle ayrışmayı önlemek mümkündür.

5. Linyit yakan akışkan yataklarda gerçekleşen aglomerasyon sürecinde, linyitlerin özellikleri çalışma koşullarından daha ağırlıklı bir rol oynamaktadır.
6. Aglomerasyon eğilimi ile linyitlerin anorganik bileşimleri arasında sistematik bir değişimden söz etmek mümkün değildir. Ancak, genel olarak Na_2O , K_2O ve Fe_2O_3 miktarları düşük ve Al_2O_3 miktarları yüksek olan linyitlerin aglomerasyon sıcaklıkları nispeten yüksektir. Akışkan yatakta biriken bazik oksit miktarı arttıkça aglomerasyon eğilimi de artmaktadır. Ancak, burada da sistematik bir değişimden söz etmek mümkün değildir.
7. Linyitlerin akışkan yatakta yanması sırasında ortaya çıkan kükürt dioksit derişimi linyitin yanabilir kükürt içeriği ve ısı değeri tarafından etkilenmekte, ancak, bu iki özellik yayılım miktarını belirlemede etkili olmamaktadır. Kükürt dioksit yayılımı linyitin sürüklenme özellikleri ve külün kalsiyum oksit içeriği gibi fiziksel ve kimyasal faktörler tarafından da etkilenmektedir.
8. Linyit yakan akışkan yataklarda yatak yüzeyindeki gelişmeler aglomerasyonun başlaması ve gelişmesi hakkında ipucu vermektedir. Aglomerasyon başladığında kömür taneciklerinin hızları ve yüzeydeki hareketleri yavaşlamakta ve yanma belirli noktalarda yoğunlaşmaktadır.

5.2.Öneriler

1. Türk kömürlerinin aglomerasyon özellikleri daha ayrıntılı ve geniş kapsamlı olarak incelenmelidir.
2. Akışkan yatak yanma sürecinde Türk kömürlerinin sürüklenme ve parçalanma özellikleri daha ayrıntılı bir şekilde incelenmelidir. Böylece akışkan yataktaki fonksiyonel bölgelerin tanımı daha netleşmiş olur.

3. Bütün dünyada atmosferik habbeli akışkan yatakların yerini hızlı-basınçlı akışkan yataklar almaya başlamıştır. Bu konuda ülkemizde yapılan çalışmaların sayısı yok denecek kadar azdır. Türk linyitlerinin, bu tür akışkan yataklarda yanma özellikleri incelenmelidir. Ülkemizde hızlı-basınçlı akışkan yataklı elektrik satrallerinin kurulmaya başlaması nedeniyle bu çalışma daha da önem kazanmaktadır.



KAYNAKLAR

Altaş, M., 1994. Genel enerji planlaması sonuçları ve linyitin yeri, 2000 'li Yıllara Doğru Linyit Sektörümüz Sempozyumu, Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 14-15 Kasım.

Arioğlu, E. and Yüksel, A., 1984. Türkiyede linyit madenciliğinin sorunları ve çözümleri, Birsen Basımevi, İstanbul.

Atakül, H., 1986. Çan bölgesi linyitlerinin akışkan yatak yanma sürecindeki davranımı, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Atakül, H. and Ekinci, E., 1989. Agglomeration of Turkish lignites in fluidised bed combustion, Journal of the Institute of Energy, March, 56-61.

Atakül, H. and Ekinci, E., 1990. Agglomeration in lignite ash flotsam and jetsam rich systems, Powder Technology, 60, 77-82.

Avedesian, M. M. and Davidson, J. F., 1973. Combustion of carbon particles in a fluidised bed", Trans. Inst. Chem. Eng., 51, 121-131.

Basu, P., 1982. Study of agglomeration of coal ash in fluidized beds, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 60, December, 791-795.

Basu, P. and Sarka, A., 1983. Agglomeration of coal ash in fluidized beds, Fuel, 62, 924-926.

Berman, I. M., 1979. Fluidized bed combustion systems, Power Engineering, 83, 46-56.

Chakraborty, R. K. and Howard, J. R., 1978. Burning rates and temperatures of carbon particles in a shallow fluidized bed combustor, Journal of the Institute of Fuel, 51, 120-124.

Chakraborty, R. K. and Howard, J. R., 1981. Combustion of char in shallow fluidized bed combustors: Influence of some design and operating parameters, Journal of the Institute of Energy, March, 48-54.

Chen, J. L. P. and Keairns, D. L., 1975. Particle segregation in a fluidised bed, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 53, August, 595-602.

Chiba, S., Nienow, A. W., Chiba, T. and Kobayashi, H., 1980. Fluidised binary mixtures in which the denser component may be flotsam, Powder Technology, 26, 1-10.

Cooke, M. J. and Hodgkinson, N., 1975. The fluidised combustion of low grade materials in fluidized beds, AIChE Symp. Ser. 73, 161, 108-114.

- Davidson, J. R., Clift, R. and Harrison, D., 1985.** Fluidization, Academic Press, New York.
- Davies, T. W. and Hooper, R. M., 1985.** Some observations on the physical transformation of pulverized coal during flash pyrolysis at heating speeds in the range 103 to 105Ks⁻¹, Journal of the Institute of Energy, June, 70-72.
- Dawson, M. R. and Brown, R. C., 1992.** Bed material cohesion and loss of fluidization during fluidized bed combustion of midwestern coal, Fuel, 71, 585-591.
- Ekinci, E., Yardım, M. F. and Atakül, H., 1988.** Temperature profiles in a lignite flotsam rich fluidized bed, Fuel, 66, 191-197.
- Fiorentino, M., Marzocchella, A. and Salatino, P., 1997.** Segregation of fuel particles and volatile matter during devolatilization in a fluidised bed reactor-experimental, Chemical Engineering Science, 53 (12), 1909-1922.
- Gluckman, M. J., Yerushalmi, J. And Squires, A. M., 1976.** Dfluidization characteristics of sticky materials on agglomerating beds, in Fluidization Technology, 395-422, Eds. Keairns, D. L., Hemisphere, Washington.
- Goblirsch, G. M. and Talty, R. D., 1980.** Recent development in fluidised bed combustion technology for lignites and subbituminous coals in the USA, Fluidised Combustion Systems and Applications, paper IV-7, London, November.
- Gray, V., 1987.** Prediction of ash fusion temperature from ash composition for New Zealand coals, Fuel, 66, 1230-1239.
- Highley, J., 1980.** The design and control of fluidised bed fired boilers", Journal of the Institute of Energy, December, 208-216.
- Howard, J. R., 1978.** Fluidized bed combustion and heat treatment, Engineering, December, 1-11.
- Howard, J. R., 1983.** Fluidized bed combustion and applications, Applied Science Publishers, London.
- Howard, J. R., 1989.** Fluidized bed technology-principles and applications, Adam Hilger, New York.
- Huffmann, G. P., Huggins, F. E. and Dunmyre, G. R., 1981.** Investigation of high temperature behaviour of coal ash in reducing and oxidizing atmospheres, Fuel, 60, 585-591.
- Jung, B. and Schobert, H., 1992,** Viscous sintering of coal ashes. 2. Sintering behaviour at short residence times in a drop tube furnace, Energy and Fuels, 52-68.
- Kunii, D. and Levenspiel, O., 1977.** Fluidization engineering, Krieger, New York.
- Lingewile, T. M., Hull, A. S. and Agarwal, P., 1994.** Optical probe measurements of temperature of burning particles in fluidized beds, Fuel, 73, 1880-1889.

Manzoori, A. R. and Agarwal, P. K., 1992. The fate of organically bound inorganic elements and sodium chloride during fluidized bed combustion of high sodium high sulphur low rank coals, *Fuel*, 71, 513-522.

Manzoori, A. R. and Agarwal, P. K., 1994. Agglomeration and defluidisation under simulated circulating fluidized bed combustion conditions, *Fuel*, 73, 563-568.

McKenzi, E. C., 1978. Burning coal in fluidized beds, *Chemical Engineering*, August, 116-127.

Moilanen, A., Skrifvars, B. J. and Hupa, M., 1989. The effect of temperature, chemical composition and gas atmosphere on sintering of peat fly ash, *Proc. Int. Conf. on Coal Science*, Tokyo, October, 397-400.

Nienow, A. W., Rowe, P. N. and Chiba, T., 1978. Mixing and segregation of a small proportion of larger particles in a gas fluidised beds of considerably smaller ones, *AIChE Symp. Ser.* 74, 176, 45-53.

Nowok, J. W., Benson, S. A., Jones, M. L. and Kalmanovitch, D. P., 1991. Sintering behaviour and strength development in various coal ashes, *Fuel*, 69, 1020-1028.

Park, D., 1989. Estimation of temperature between char particles and fluidized bed in char combustion, *Fuel*, 68, 1320-1324.

Pemberton, S. T. and Davidson, J. F., 1986. Elutriation from fluidized beds-1. Particle ejection from the dense phase into the freeboard, *Chemical Engineering Science*, 41 (2), 243-251.

Pillai, K. K., 1982. A schematic of coal devolatilization in fluidised bed combustors, *Journal of the Institute of Energy*, 55, 132-133.

Pillai, K. K., 1985. Devolatilization and combustion of large coal particles in a fluidized bed, *Journal of the Institute of Energy*, March, 3-7.

Quann, R. J. and Sarofim, A. F., 1986. A scanning electron microscopy study of transformations of organically bound metals during lignite combustion, *Fuel*, 65, 40-46.

Rowe, P. N. and Nienow, A. W., 1976. Particle mixing and segregation in gas fluidised beds, *Powder Technology*, 15, 141-147.

Ruisard, B. E. and Hanway, J. E., 1972. Unique advantages of fluidised beds for pollution control, *AIChE Symp. Series, Air Pollution Control and Clean Energy*, No 147, Vol 71, 141-147.

Rumpf, H., 1962. The strength of granules and agglomerates, in *Agglomeration*, 379-414, Eds. Knepper, W. A., John Wiley & Sons, New York.

Saxena, S. C. and Rahmet, A. A., 1978. Mechanistic model to explain ash agglomeration in fluidised bed, 5th Int. Conf. on Fluidised Bed Combustion, Vol. 3, December.

Siegel, J. H., 1976. Defluidisation phenomena in fluidized beds of sticky particles at high temperatures”, Doktora Tezi, The City University of New York, New York.

Siegel, J. H., 1984. High temperature fluidization, Powder Technology, 38, 13-22.

Singer, J. G., 1981. Combustion : Fossil Power Systems, Combustion Engineering, Windsor, CT.

Skrifvars, B. J., Hupa, M., Backman, R. and Hiltunen, M., 1994. Sintering mechanisms of FBC ashes, Fuel, 73 (2), 171-176.

Sonderal, E. A. and Ellman, R. C., 1975. Fusibility of ash from lignite and its correlation with composition, U.S Energy Res. Dev. Admin. Rep., Vol. 75 , No. 1, Pittsburg, USA.

Stallman, J. J. and Neavel, R. C., 1980. Technique to measure the temperature of agglomeration of coal ash”, Fuel, 584-586.

Stubington, J. F., 1985. Comparison of techniques for measuring the temperature of char particles burning in a fluidised bed, Chem. Eng. Res. Des., 63, July, 241-249.

Tardos, G. I., Mazzone, D. and Pfeffer, R., 1985. Destabilization of fluidization of fluidized beds due to agglomeration. I.Theoretical model, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 63, 377-383.

Tırıs, M., Kalafatoğlu, E. and Okutan, H., 1993. Hava kirliliği kaynakları ve kontrolü, TÜBİTAK-MAM, Kocaeli.

Topper, J. M., Cross, P. J. I. and Goldthorpe, S. H., 1994. Clean coal technology for power and cogeneration, Fuel, 73, 1056-1063.

Unuma, H., Takeda, S., Tsurue, T., Ito, S. and Sayama, S., 1986 . Studies of the fusibility of coal ash, Fuel, 65, 1505-1510.

Waters, P. L., 1975. Factors Influencing the fluidised combustion of low grade solid and liquid fuels, Institute of Fuel Symp. Ser.No.1: Fluidised Combustion, Paper C6, London.

Williams, B. C., McMullan, J. T. and Campbell, P., 1994. Clean power generation from coal, Fuel, 73, 1069-1073.

Zakkay, V., Joseph, A., Sunderesan, C., Clisset, H., Radhakrishnan, P., Panunzio, S., Miller, G., 1984. Combustion of North Dakota lignites in a pressurized fluidized bed combustor, Fluidized Bed Combustion and Applied Technology, First International Symposium Paper II - 91, Hemisphere - McGraw - Hill, New York.

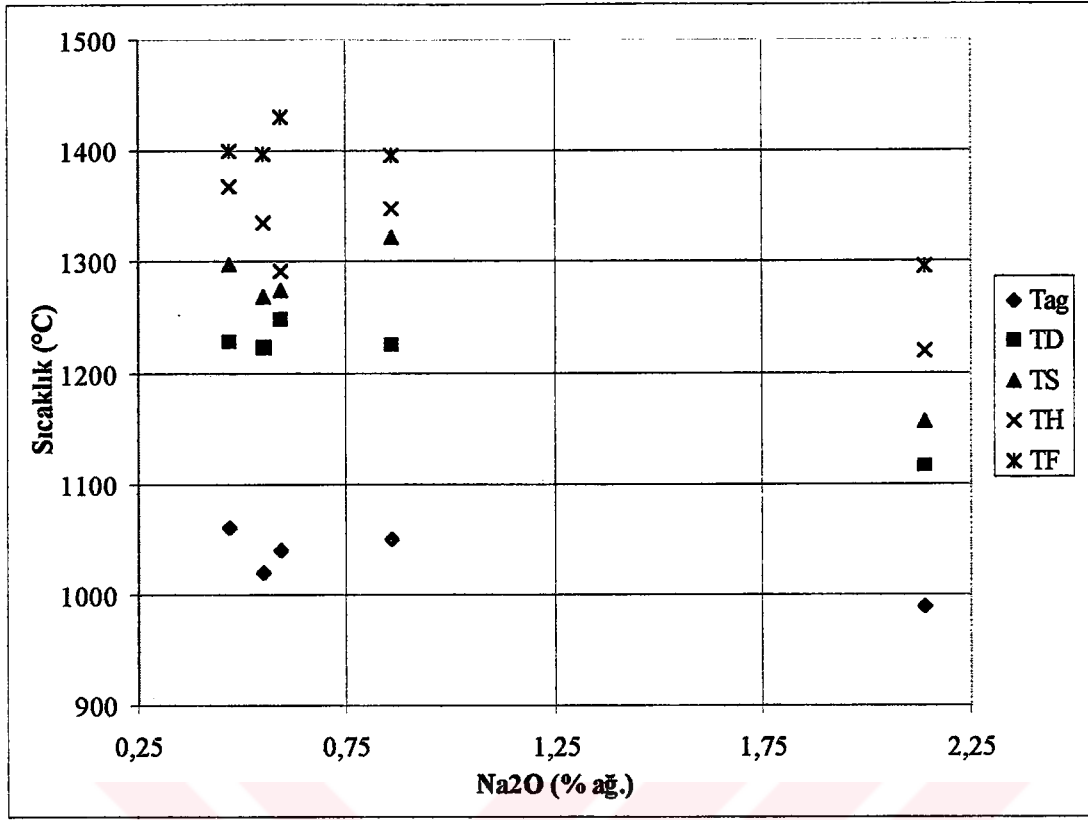
Zhang, J. Q., Becker, H. A. and Code, R. K., 1990. Devolatilization and combustion of large coal particles in a fluidised bed, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 68, 1010-1017.

EKLER

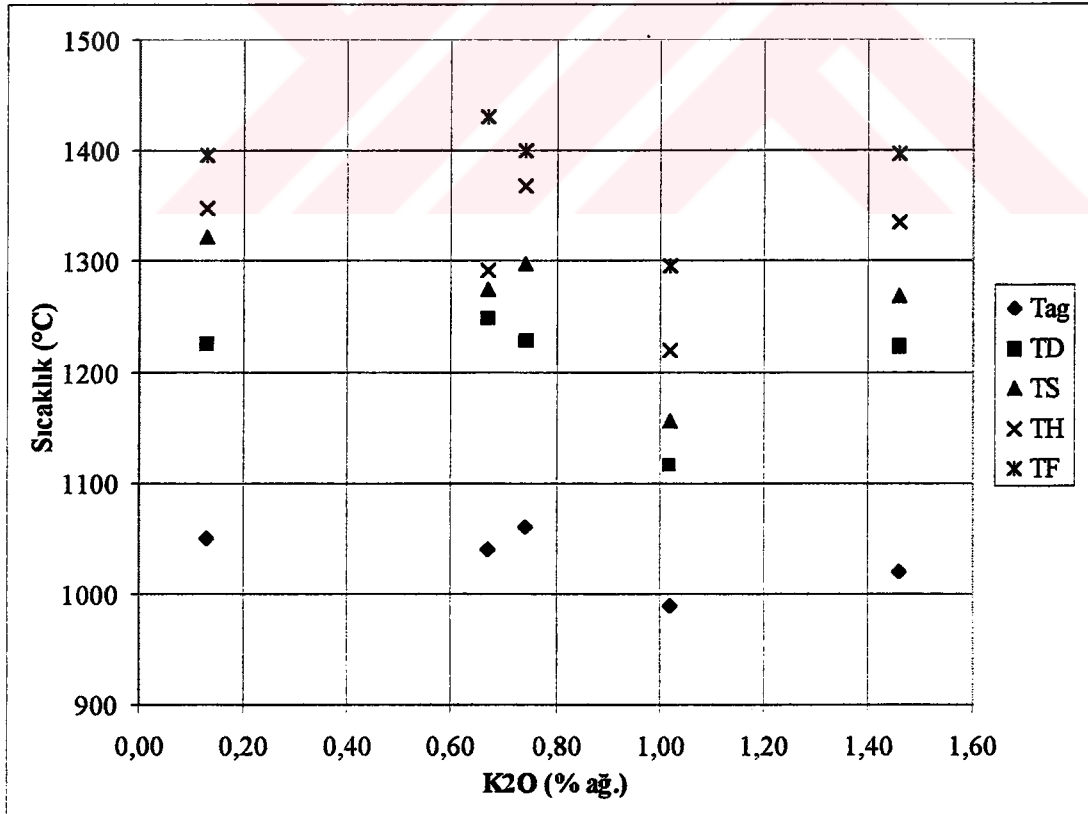
EK - A

Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının külün anorganik yapısı ile değişimi

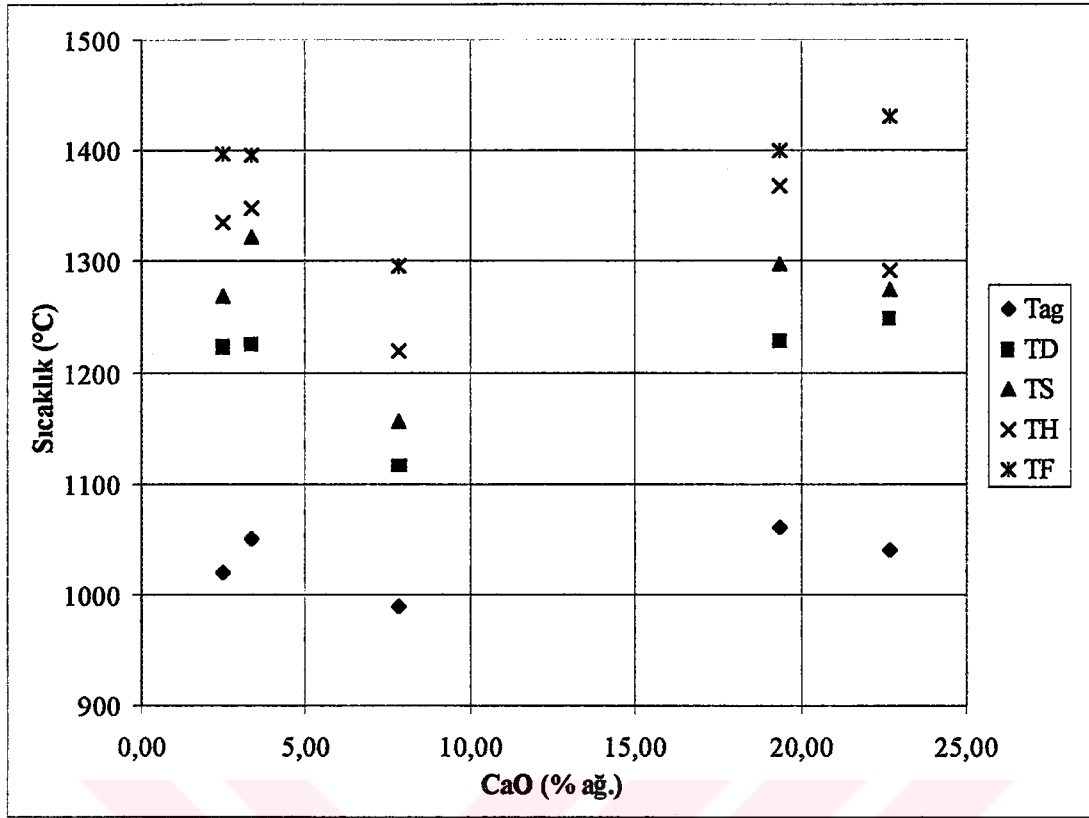




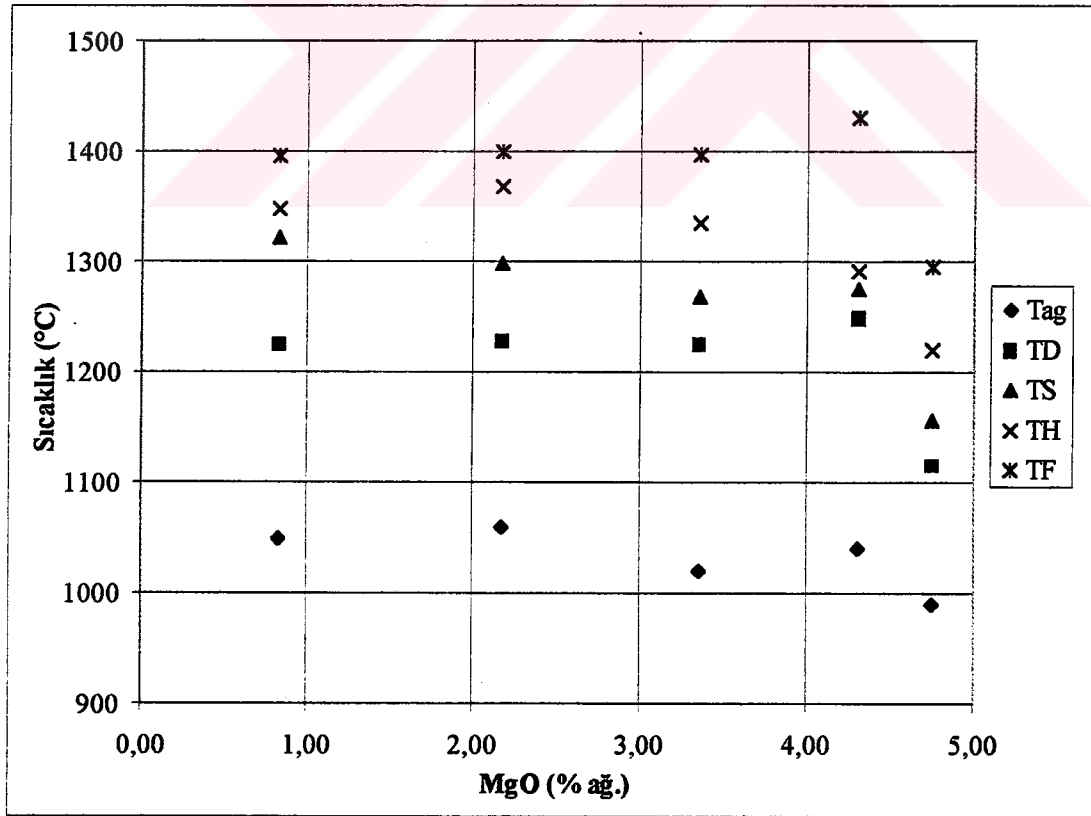
Şekil A.1. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının Na_2O içeriği ile değişimi



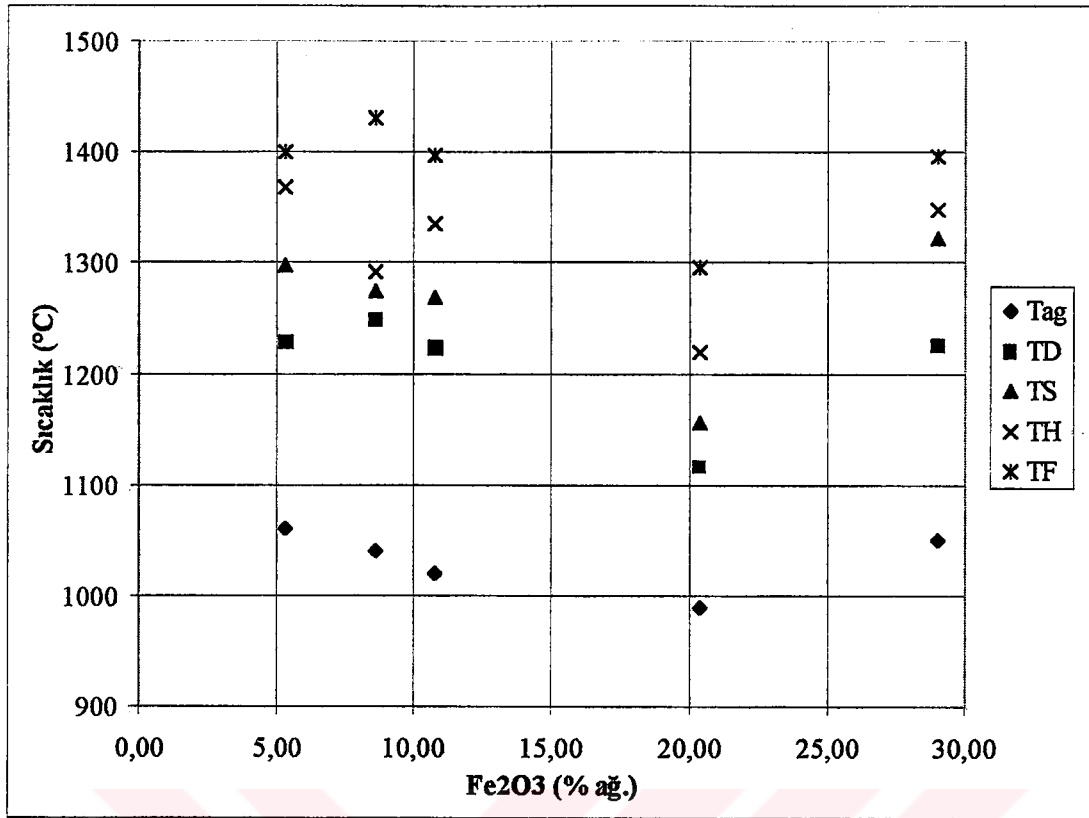
Şekil A.2. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının K_2O içeriği ile değişimi



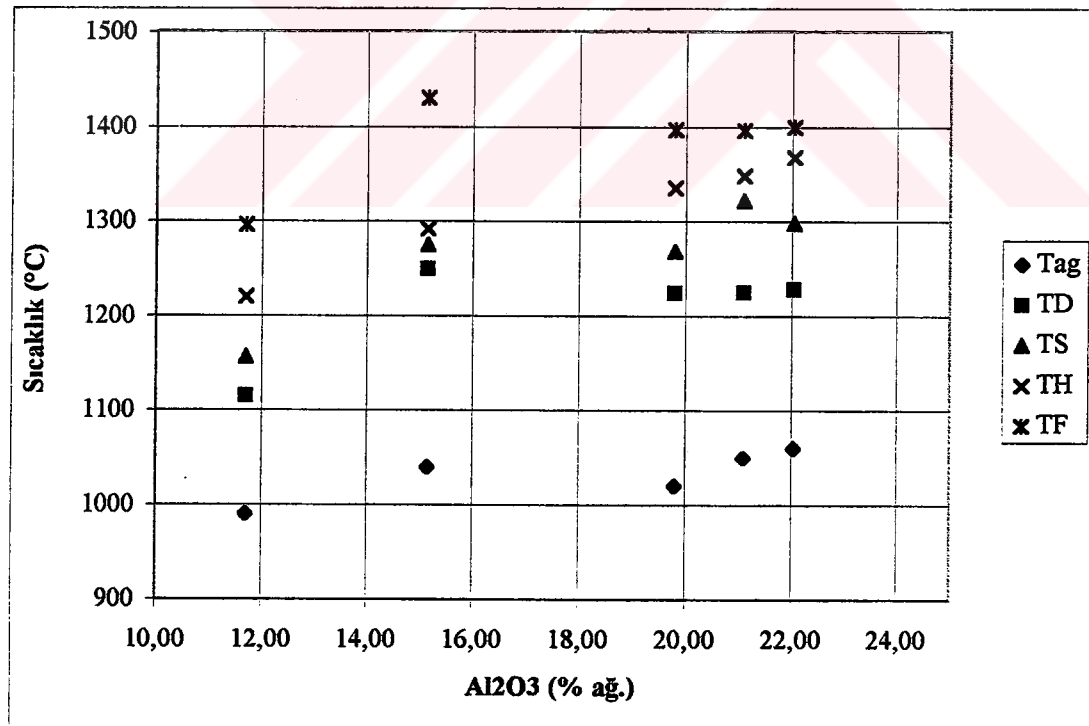
Şekil A.3. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının CaO içeriği ile değişimi



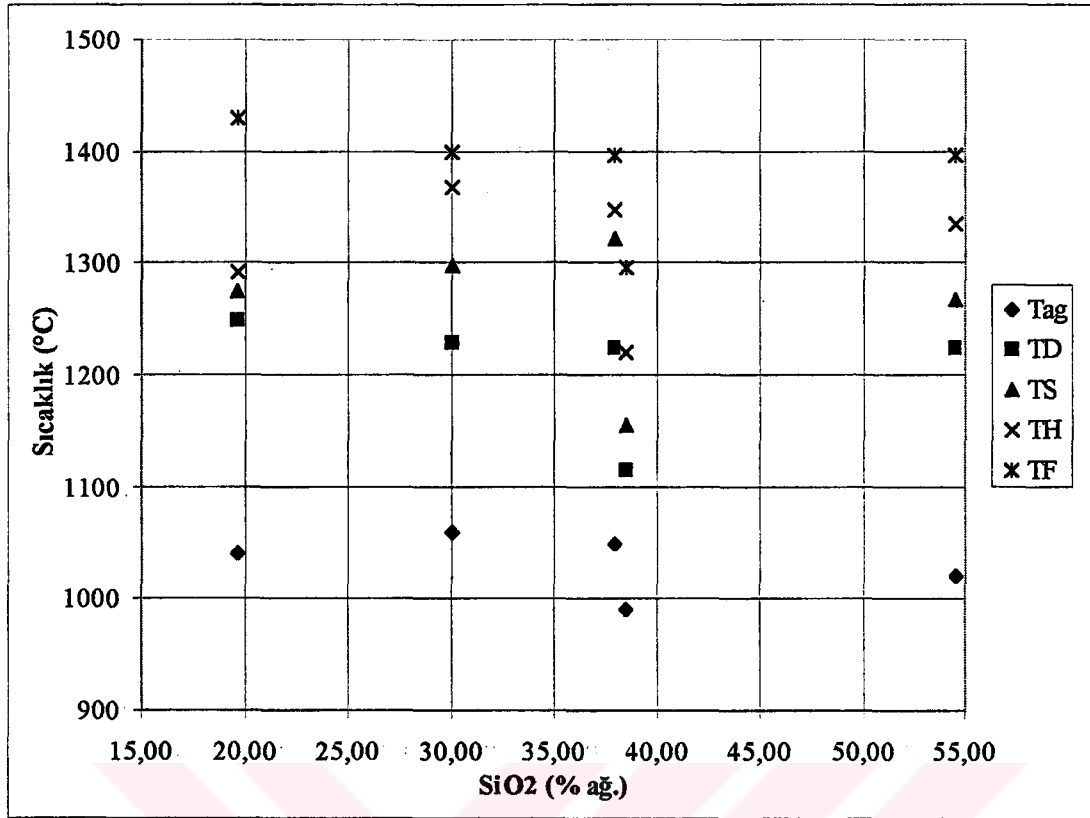
Şekil A.4. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının MgO içeriği ile değişimi



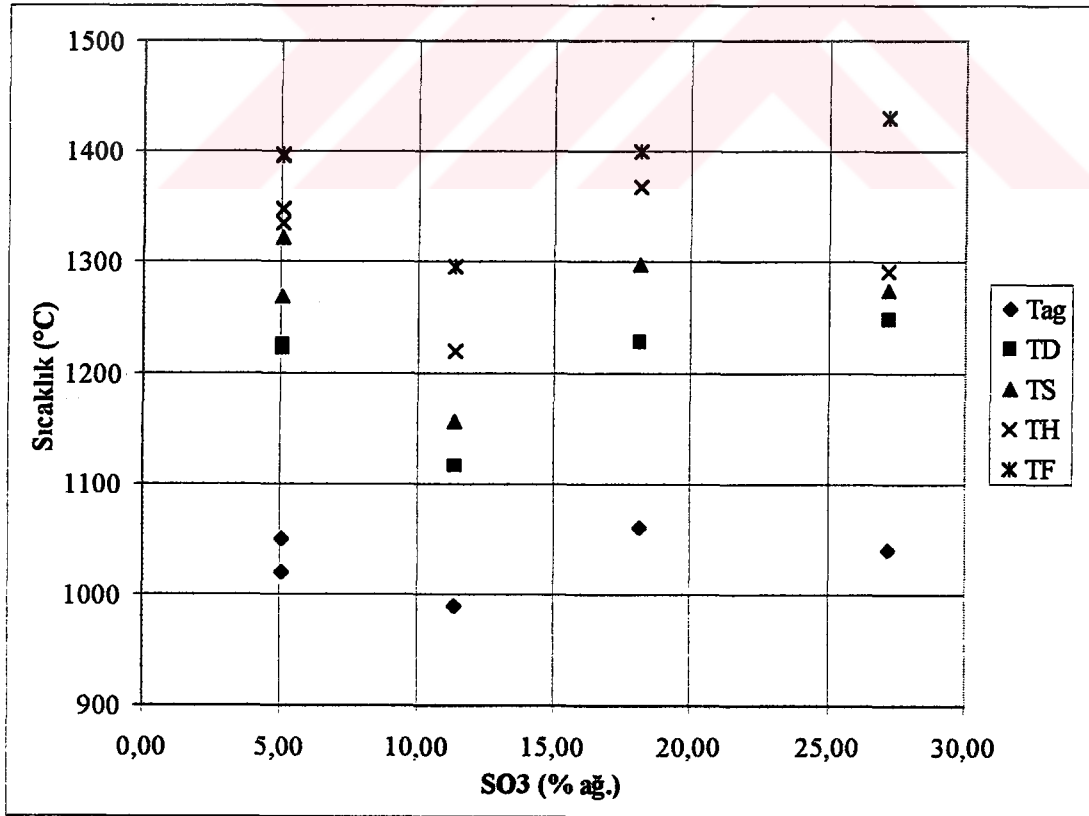
Şekil A.5.Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının Fe₂O₃ içeriği ile değişimi



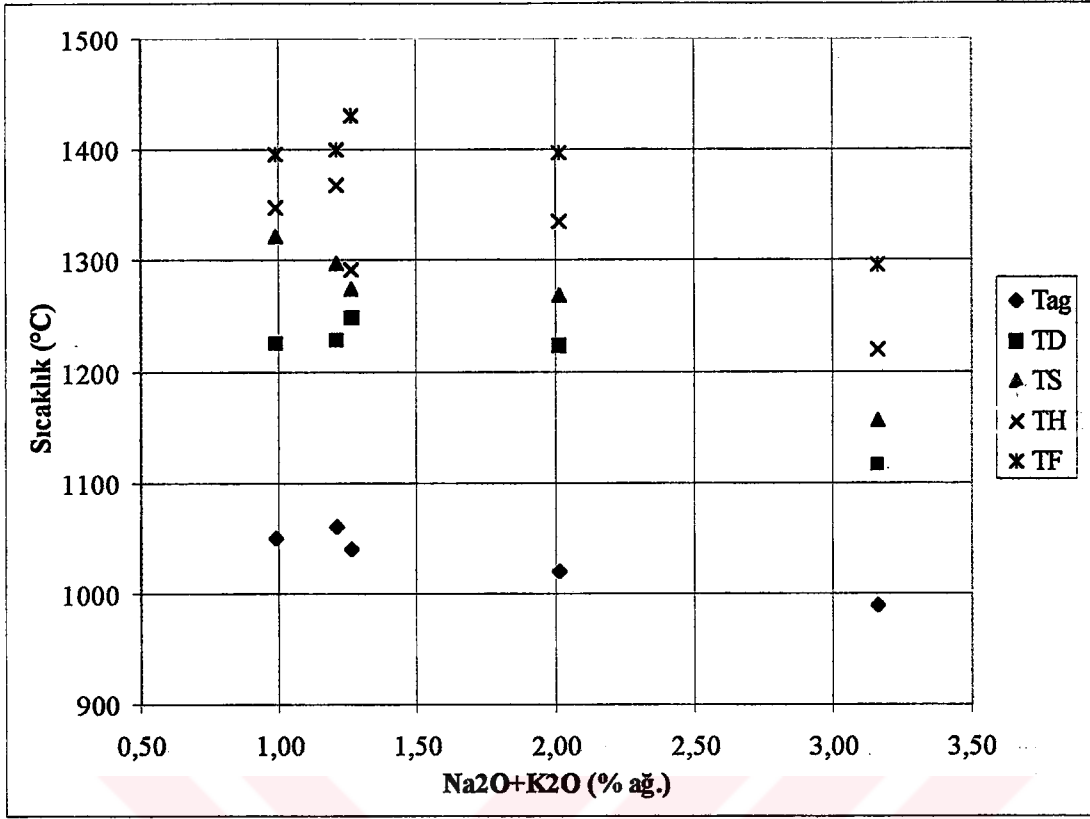
Şekil A.6.Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının Al₂O₃ içeriği ile değişimi



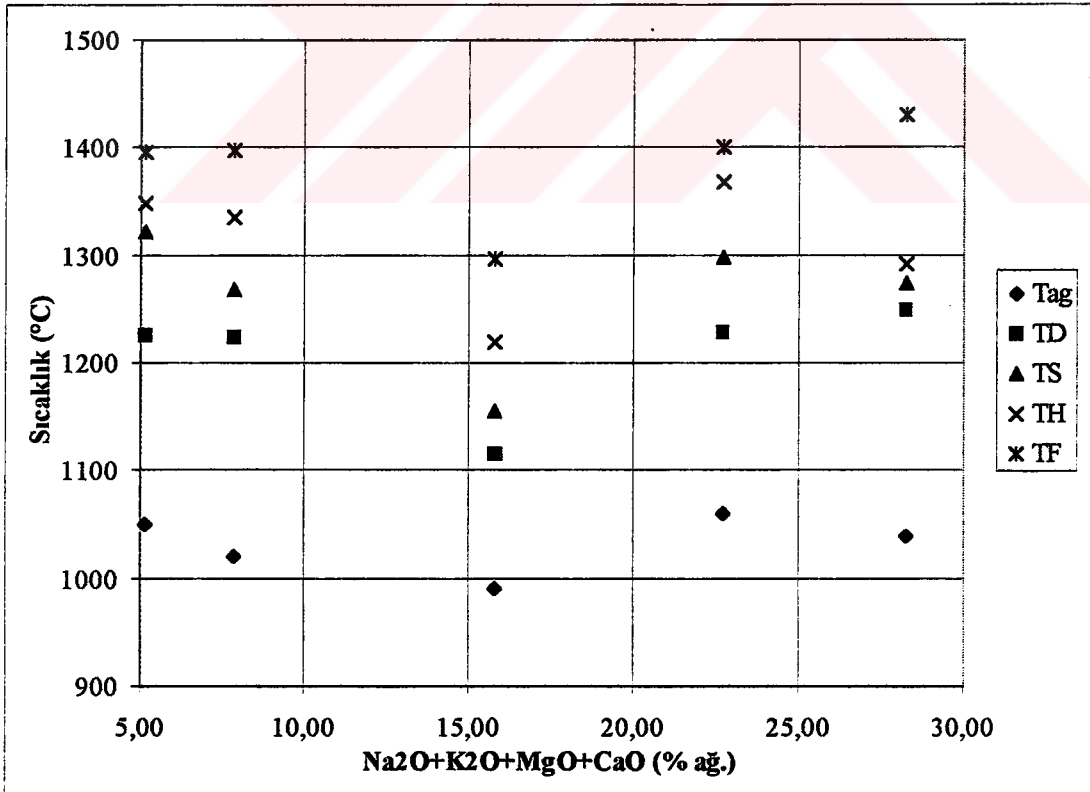
Şekil A.7. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının SiO_2 içeriği ile değişimi



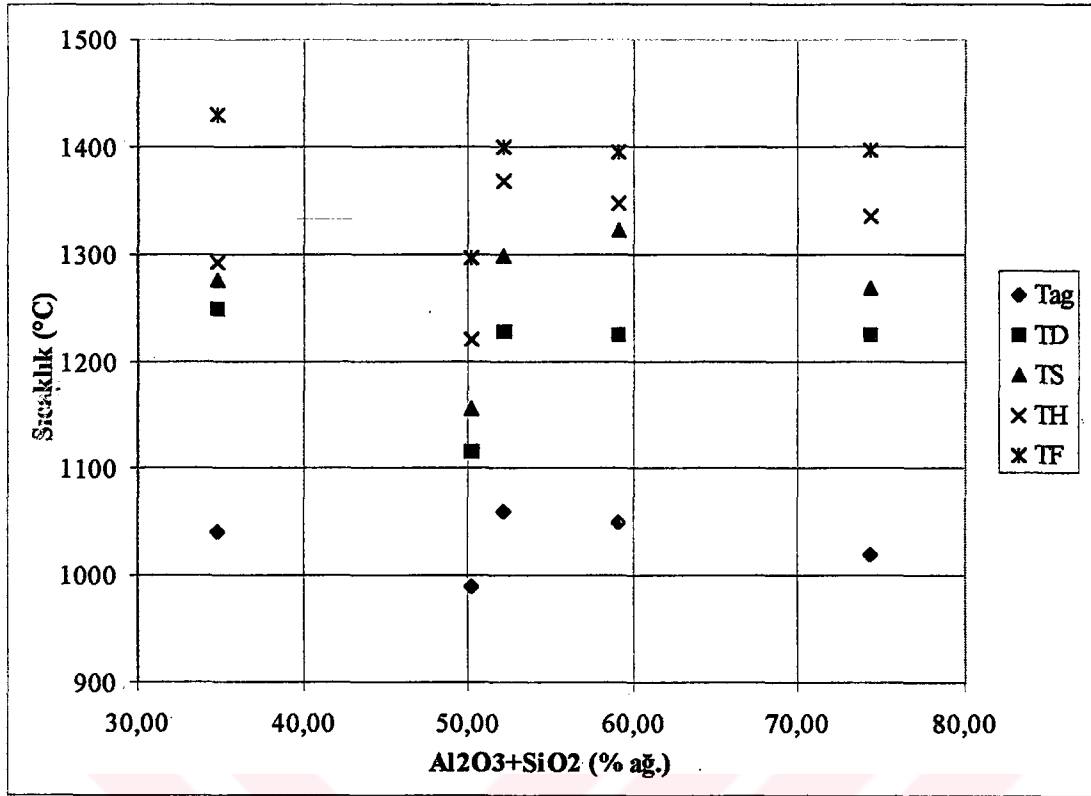
Şekil A.8. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının SO_3 içeriği ile değişimi



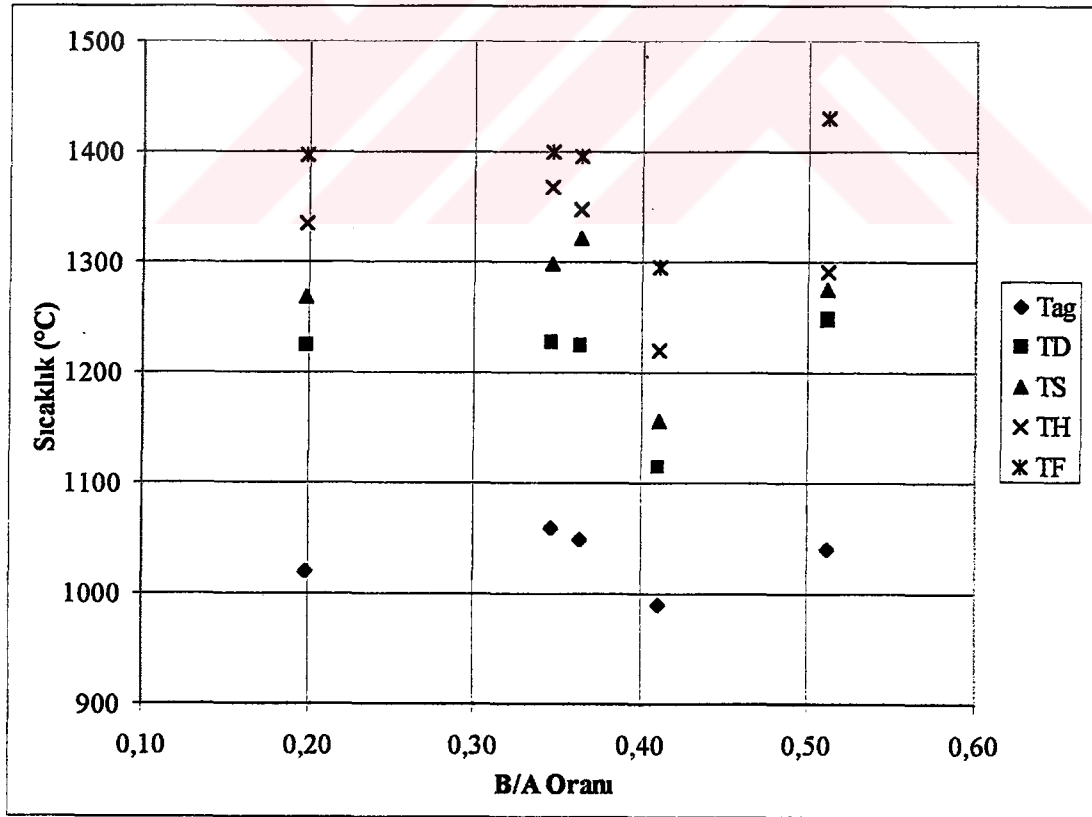
Şekil A.9. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ içeriği ile değişimi



Şekil A.10. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{MgO} + \text{CaO}$ içeriği ile değişimi



Şekil A.11. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ içeriği ile değişimi



Şekil A.12. Aglomerasyon sıcaklığı ve kül özgül sıcaklıklarının B/A oranı ile değişimi

ÖZGEÇMİŞ

Bilgin HİLMİOĞLU 1965 yılında İskeçe’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul’da tamamladı. İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünden 1989 yılında mezun oldu. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Programındaki Yüksek Lisans öğrenimini 1991 yılında tamamladı. Aynı yıl aynı programda Doktora öğrenimine başladı. 1991 yılından bu yana İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Proses ve Reaktör Tasarımı Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Bilgin HİLMİOĞLU evli olup bir çocuk babasıdır. İngilizce, Fransızca ve Yunanca bilmektedir.

