

39527

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKIŞKAN YATAKTA AYRIŞMA VE AGLOMERASYON
REJİMLERİNİN SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ İLE İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Mustafa TOLAY

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Mart 1994

Tezin Savunulduğu Tarih : 7 Haziran 1994

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ekrem EKİNCİ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet ARISOY

Doç. Dr. Hüseyin VURAL

HAZİRAN - 1994

ÖNSÖZ

Gerek bu çalışmanın oluşturulması sırasında gerekse diğer akademik faaliyetlerim süresince devamlı destek sağlayan, ısrarlı ilgileri, bitmez tükenmez sabrı ve öncülüğü ile bana yardımcı olan Sayın Prof.Dr.Ekrem EKİNCİ'ye minnet ve şükran duygularımı sunarken içtenlikle teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Eğitimci ve araştırmacı olarak büyük destek ve yardımlarını gördüğüm Prof.Dr.Ekrem EKİNCİ bana sadece bir tez yürütücüsü olarak değil aynı zamanda içten bir ağabey olarak her konuda doğruyu bulmamda yardımcı olmuştur. Bu günlere ulaşmamızda büyük emekleri, yardım ve destekleri geçmiş olan tüm hocalarıma ve bölüm arkadaşlarıma ayrıca teşekkür ederim.

Bölümümüzde yanma ve akışkan yataklar konusunda altyapının hazırlanması, geliştirilmesi ve bilgi birikiminin sağlanması olduğu kadar bu çalışmanın tamamlanması sırasında büyük yardımlarını ve desteklerini gördüğüm başta Doç.Dr.Hüsnü ATAÜL olmak üzere Yar.Doç.Dr.M.Ferhat YARDIM'a, Dr.Murat ÇİTİROĞLU'na, Dr.Derya ERÇİKAN'a,

Akışkan yatağın yapımında emeği geçen Ali GÖKALP ve Mustafa TÜRKER'e, laboratuvar numunelerine uygulanan birçok analizlerin yapımına olanak sağlayan Leeds Üniversitesi değerli hocası Prof.Dr.Keith BARTLE'a, teknisyen Bernard Frere'e, akışkan yatakların tasarımı konusunda kıymetli desteklerini gördüğüm Dr.Jack R.HOWARD'a ve maddi desteklerini gördüğümüz British Council'a, deneylerde kullanılan linyit numunelerini sağlayan Orta Anadolu Linyit Müessesesi Göynük İşletmeleri ilgililerine, ayrı ayrı minnet, şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Bugüne kadar geçen yaşamımda maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen çok değerli Annem, Babam ve Kardeşlerime, Sayın Nesrin DÖLEN'e ve sevgili kızım Elif Ebru TOLAY'a minnet, şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	Sayfa ii
SEMBOLLER	v
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Amaç	2
BÖLÜM 2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Aglomerasyona Yatkın Akışkan Yataklarda Yatak İçi Sıcaklık Dağılımı	4
2.2. Aglomerasyona Yatkın Akışkan Yataklarda Ayrışma	7
2.2.1 Taneciklerin Boyut ve Yoğunluk Farkından Kaynaklanan Ayrışma	7
2.2.2. Ayrışma Tipleri	10
2.2.2.1. Yüzüşen Zengin Sistemler	10
2.2.2.2. Batışan Zengin Sistemler	12
2.3 Kül Sinterleşme Sıcaklığı	15
2.3.1. Kül Yumuşama, Sinterleşme ve Aglomerasyon İlişkileri	15
2.3.2. Sinterleşme Sıcaklığının Ölçülmesi	17
2.4. Akışkan Yataklı Sistemlerde Aglomerasyon	20
2.5. Akışkan Yataklı Sistemlerde Aglomerasyonun Modellenmesi	22
BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	24
3.1. Kullanılan Numuneler ve Ytak Malzemelerinin Tanıtılması	24
3.2. Numunelere Uygulanan Analizler	24
3.2.1. Kömürde Uygulanan Analizler	25
3.2.1.1. Kısa ve Elementel Analizlerle Isıl Değer Analizleri	25
3.2.1.2. Tane Boyutu ve Yığın Ağırlığı Tayinleri	25
3.2.2. Külde Yapılan Analizler	26
3.2.2.1. Külde Yapılan Kimyasal Analizler	26

3.2.2.2. Özgül Kül Sıcaklıklarının Tayini	26
3.2.3. Yatak Malzemesinde Uygulanan Analizler	26
3.3. Deney Düzenegi	27
3.3.1. Rüzgar Odaciğı	29
3.3.2. Dağıtıcı Elek	29
3.3.3. Aktif Yatak ve Serbest Bölge	30
3.3.4. Isıtma Sistemi	31
BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ	33
4.1. Akışkan Yatakların Isıtma Sistemleri	33
4.1.1. Tek Aşamalı Isıtma Sistemi	33
4.1.2. İki Aşamalı Isıtma Sistemi	37
4.2. Göynük Linyitinin Ayrışma Eğiliminin Sıcaklık Dağılımı ile Belirlenmesi	37
4.2.1. Linyit Tanecik Boyutunun Akışkan Yatak Sıcaklık Dağılımına Etkisi	42
4.2.2. Yatak Malzemesi Türünün Sıcaklık Dağılımına Etkisi	42
4.2.3. Yatak Malzemesi Tanecik Boyutunun Sıcaklık Dağılımına Etkisi	45
4.2.4. Yatak Yüksekliği/Yatak Çapı Oranının Sıcaklık Dağılımına Etkisi	48
4.2.5. Hava Hızı Değişiminin Sıcaklık Dağılımına Etkisi	52
4.2.6. Linyit/Yatak malzemesi İkili Sistemi Ayrışma Dinamiğinin Zamanla Değişimi	56
4.3. Göynük Linyitinin Aglomerasyonu	62
4.3.1. Linyit Tanecik Boyutunun Aglomerasyona Etkisi	62
4.3.1.1. Linyit Batışan Zengin Ayrışma Sistemi	62
4.3.1.2. Linyit Yüzüşen Zengin Ayrışma Sistemi	71
4.3.2. Yatak malzemesi Boyutunun ve Türünün Aglomerasyona Etkisi	73
4.3.2.1. Linyit Batışan Zengin Türü Ayrışma	73
4.3.2.2. Linyit Yüzüşen Türü Ayrışma	74
4.3.3. Aglomerasyon Sürecinde ΔT - ΔP Değişimi	78
4.3.4. Ayrışma Rejimi Aglomerasyon İlişkisi	79
4.3.4.1. Linyit Yüzüşen Zengin Tipi Ayrışma	79
BÖLÜM 5. SONUÇLAR	83
BÖLÜM 6. ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	99

SEMBOLLER

U_{mf}	: Minimum akışkanlaşma hızı, m/s
U_F	: Yüzen taneciklerin minimum akışkanlaşma hızı, m/s
U_P	: Çöken taneciklerin minimum akışkanlaşma hızı, m/s
U_M	: Tamamen karışan taneciklerin minimum akışkanlaşma hızı, m/s
U_{MS}	: Kısmen karışan taneciklerin minimum akışkanlaşma hızı, m/s
U_S	: Tamamen ayrılmış taneciklerin minimum akışkanlaşma hızı, m/s
H_B	: Yatak yüksekliği, m
H_S	: Statik yatak yüksekliği, m
H_D	: Dinamik yatak yüksekliği, m
ΔP	: Yatak basınç düşüşü, mmSS
U	: Operasyon hızı, m/s
D	: Yatak çapı, m
Q_B	: Hacimsel habbe debisi, m ³ /s
A	: Yatak kesit alanı, m ²
d_p	: Tanecik çapı, m
M	: Karışma indeksi
X_j	: Yüzüşen zengin sistemde batışan taneciklerin üst kısımlarındaki ağırlık oranı
X_j	: Batışan taneciklerin tüm yataktaki ağırlık fraksiyonu
X_j	: Batışan taneciklerin yatağın herhangi bir kesitindeki ağırlık fraksiyonu
d_B	: Büyük taneciklerin çapı, m
d_K	: Küçük taneciklerin çapı, m
d_k	: Linyit taneciklerinin çapı, m
d_{YM}	: Yatak malzemesinin çapı, m
ρ_a	: Ağır taneciklerin yoğunluğu, kg/m ³
ρ_h	: Hafif taneciklerin yoğunluğu, kg/m ³
ρ_R	: Yoğunluk oranı

ρ_k	: Tanecik yoğunluğu, kg/m ³
T_s	: Sinterleşme sıcaklığı, °C
T_{AG}	: Aglomerasyon sıcaklığı, °C
F_k	: Linyit besleme debisi, g/dak
F_H	: Hava besleme debisi, m ³ /saat
X/H	: Penetrasyon derinliği,
ΔT_1	: Dağıtıcı elekten itibaren 0.10 m ile 0.01 m yükseklikteki bölge sıcaklıkları arasındaki fark, °C
ΔT_3	: Dağıtıcı elekten itibaren 0.10 m ile 0.03 m yükseklikteki bölge sıcaklıkları arasındaki fark, °C
ΔT_{30}	: Dağıtıcı elekten itibaren 0.10 m ile 0.30 m yükseklikteki bölge sıcaklıkları arasındaki fark, °C
ΔT_{3A}	: Aglomerasyon başlangıcından itibaren 0.030 m yükseklikteki sıcaklık ile yatak sıcaklığı arasındaki fark, °C
ΔT_{30A}	: Aglomerasyon başlangıcından itibaren 0.30 m yükseklikteki sıcaklık ile yatak sıcaklığı arasındaki fark, °C
$\Delta t'_{AG}$	: Aglomerasyon süresi, dak.

ÖZET

Akışkan yataklarda, linyitin kendisinden değişik yoğunluk ve tanecik boyutuna sahip bir yatak malzemesi içerisinde yakılması halinde ayrışma gerçekleşmektedir. Akışkan yataklı sistemlerde aglomerasyonun bir ön aşaması olarak beliren ayrışmanın mekanizması ve bunun aglomerasyona olan etkisinin anlaşılması yanmanın verimli ve sürekli olabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Göynük linyiti Şile kumu ve kuartz kumu içeren 0.11 m ve 0.2 m çaplarında akışkan yataklarda yakılmış ve sistemde yanmanın başlamasından aglomerasyonun gerçekleşmesine kadar geçirdiği ayrışma rejimleri incelenmiştir. Sistemler sürekli çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

Göynük linyiti ve sözü edilen yatak malzemelerinin tanecik boyutları dikkatli seçilerek akışkan yatakta bir uçta şiddetli linyit çöküşen zengin, diğer uçta da batışan zengin ayrışma karışımları elde edilerek çalışma gerçekleştirilmektedir. Akışkan yatakta linyit, inert komponente kıyasla çok düşük oranlarda bulunduğu için yatak içerisindeki dağılımı, yanma sonucu elde edilen sıcaklık dağılımından anlaşılabilir. Bu nedenle her iki akışkan yatakta dağıtıcı elekten 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.2 ve 0.3 m yükseklikteki seviyelere yerleştirilen ısı çiftleriyle ölçülen sıcaklık dağılımları tüm deney süresince izlenmiştir.

Ayrışma rejimleri ve buna bağlı olarak gelişen aglomerasyonun belirlenmesinde diferansiyel sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Ayrışma rejimleri için ΔT_3 , ΔT_{30} ve aglomerasyon için ΔT_{3A} , ΔT_{30A} olarak tanımlanan değerler anlamlı sonuçlar vermiştir. Bu değerlerin kontrol parametreleri olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır. Deneylerin sonucunda akışkan yataklı linyit yakıcılarında yatağın normal şartlarda linyit yüzüşen zengin rejimde yandığı ancak yatak malzemesi tanecik boyutunun küçük, linyit tanecik boyutunun büyük seçilmesi ile linyit batışan zengin rejiminde sürdürülebileceği anlaşılmıştır. Değişen proses parametrelerinin ayrışma ve aglomerasyon üzerine etkileri incelenmiştir.

SUMMARY

THE SEGREGATION SYSTEMS LEADING TO THE AGGLOMERATION IN FLUIDISED BED COMBUSTOR

The beds in a binary lignite-bed material fluidised bed combustion system are forced to segregate. Measurement of bed segregation may be done by various methods: the bed may be slumped and the components can be vacuum collected and sieved, pressure drop and differential temperature readings may be measured. Also x-ray cine-photography and radioactive tracer techniques have been used for the determination of segregation patterns. Slumping the beds is a time consuming cumbersome method and, there is a tendency for ash particle size to be disturbed during sieving. The pressure measurement is a dynamic response but gives an overall picture of total bed, where as monitoring the segregation tendency through temperature readings gives representative information related to the number and location of thermocouples. Also, direct measurements of the bed temperature profiles can be provide useful information, since agglomeration is a thermal phenomenon which is depend on the sintering temperature of the bed.

In a gas fluidised bed with more than one component the quality of fluidisation will be determined by the balance between mixing and segregation which are in turn determined by the densities and size differentials of the components. The fluidisation velocity affects the balance. The segregation tendency of the bed is attributed which tends to rise. This may be observed in a single component system where a particle size differential exists, or in multicomponent systems where there is density and/or particle size differential. For binary systems is a simple scheme, classifying the jetsam and flotsam components into three main groups, each having to subgroups. In case 1, where the particle sizes are

similar, if the densities are also similar then the bigger component is jetsam 1a. If the densities are also similar then the bigger component is jetsam then the bigger component is jetsam 1b. In case 2, when one particle size is much greater than the other, but the component with the smaller particle size is present in great excess, if the density of the larger particle is higher than that of the smaller then the component with larger particle size is jetsam 2a. If the density of the larger particle is less than that of the smaller, then the component with smaller particle size is jetsam 2b. In case 3 where one particle size is much greater than the other but the component with greater particle size is present in excess, if the component with greater particle size is denser than that of the smaller, then elutriation of the smaller component may result jetsam 3a. If the component with greater particle size is less dense than that with the smaller, then either component may be jetsam 3b.

In fluidised beds, when lignite is burned in a bed material of different density and particle size segregation occurs. Also segregation may occur in a single component system where there is a wide particle size distribution. Understanding of segregation systems which is a pre stage before agglomeration is necessary for efficient and continuous combustion.

In this study, the processes taking place in fluidised bed combustion of Göynük lignite in Şile and quartz sands upto agglomeration is investigated. By choosing the particle sizes of Göynük lignite and bed material both extreme lignite jetsam and flotsam rich systems were obtained.

The lignite used in this study was obtained from the Central Anatolia Lignite Works (Orta Anadolu Linyit İşletmeleri) at Göynük region. The lignite samples were crushed and classified into 1-2, 2-2.8, 2.8-4 and 4-5 mm fractions and kept in polyethylene bags. For elemental and ultimate analysis, calorific value, ash analysis and ash characteristics tests and experiments samples were grinded to -0.2 mm sizes.

The lignite was burned in 0.11 m and 0.2 m diameter cylindrical continuous fluidised bed combustors. The smaller bed was heated by LPG burning at the freeboard which was later drawn into the bed as temperature of it was rised. For the start-up of the larger bed an automatic controlled two-stage heating system was designed and developed.

In this system the bed material was heated to 673 K via plenum chamber combustion of LPG and after this temperature the combustion was shifted to the bed upto the lignite combustion temperature by the automatic control system.

In fluidised bed combustors the amount of the burning lignites are small compared to the inert bed material. For this reason the temperature profiles which reflects the heat evolution of the burning lignites is dependent and therefore can be used as a measure of the distribution of lignites in the bed. In order to monitor the temperature profiles continuous, thermocouples are located at 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.2 and 0.3 m from the distributor plate.

From the temperature profiles, the temperature differential between the bed (0.1 m from the distributor plate) and 0.01 and 0.03 m were termed as ΔT_1 and ΔT_3 . These differential temperatures are found to be useful indicators of the degree of segregation or conversely mixing in the bed. Similarly, the temperature differential between the bed and 0.3 m from the distributor plate, ΔT_{30} , is a measure of the segregation in the bed as reflected to the freeboard.

Göynük lignites greater than 1-2 mm particle sizes in 0.1-0.4 mm or 0.4-0.7 mm Şile sand burned in a lignite jetsam rich segregating system. In lignite jetsam rich segregating system increasing the lignite particle size or decreasing the bed material size decreased ΔT_1 and ΔT_3 and increased ΔT_{30} . The reason for this behavior is the increasing tendency of the system as lignite jetsam which causes the lignite's to concentrate at the lower parts of the bed. Therefore, due to the heating of these parts ΔT_3 decreased. At the same time, lignite combustion at the upper parts of the bed was decreased reflected as an increase on ΔT_{30} . In this type of segregation beds, the reported combustion of lignite at the upper parts of the bed whilst combustion of volatile matter is found to be irrelevant. Changing the bed material with a denser material was observed to reduce the lignite jetsam segregation tendency.

Similar to lignite jetsam rich segregation systems, the differential temperatures, ΔT_3 and ΔT_{30} , explained the segregation in a lignite flotsam rich type systems. This type of segregation was obtained for all particle sizes of lignite in q-sand. In this segregation system increasing the lignite particle size and/or decreasing the bed material particle size

reduced the segregation tendency of the bed. Under these circumstances, ΔT_1 and ΔT_3 were decreased and ΔT_{30} was increased. Changing the bed material to a denser material increased ΔT_3 and decreased ΔT_{30} . This is an increase in the tendency of the system towards lignite flotsam character. Therefore, combustion is tending to concentrate towards the upper section of the bed.

Whatever was the mode of segregation at the start of the experiments the system was observed to shift to a dynamic segregation equilibrium dictated by the lignite bed material density and/or particle size ratios.

Increasing the fluidisation velocity increased the mixing intensity therefore decreased segregation for both kinds of segregation systems. Increasing the dynamic and static bed heights decreased the tendency of segregation due to the longer retention of bed material in the system. The bed diameter did not have a significant effect on segregation.

During the course of dynamic settling of the segregation system the bed agglomerates if sintering temperature is reached at any point in the bed. It has been observed that the temperature differentials measured during agglomeration between the bed and 0.03 and 0.3 m from distributor plates were found to be useful parameters in the assessment of agglomeration with respect to segregation. These differential temperatures are termed as ΔT_{3A} and ΔT_{30A} . T_{AG} reflects the heat evolution at the time of agglomeration which is directly related to the concentration of lignite at this level whereas T_{AG} is an indirect measure of lignite concentration in the bed. For lignite jetsam rich segregating systems an increase in lignite particle size or decrease in bed material particle size, ΔT_{3A} was decreased and ΔT_{30A} was increased. The increase in lignite particle size resulted in an increase in agglomeration temperature but a decrease in agglomeration time. The increase in agglomeration temperature was a result of the increase in sintering temperature while the increase in segregation was responsible for the decrease in the agglomeration time. For the lignite jetsam rich type segregation system as the segregation tendency increased the start of agglomeration in the bed shifted towards the distributor plate.

For lignite flotsam rich type segregating systems as the lignite particle size was increased and/or bed material particle size was

decreased ΔT_{30A} was decreased, ΔT_{3A} was increased or were both decreased. Also with increased lignite particle size the agglomeration temperature and both increased. In this case the decrease in segregation was mainly responsible for the increase in agglomeration time while the increase in sintering temperature was responsible for the increase in agglomeration temperature. A reduction in the bed material particle size increased the agglomeration temperature. In this case the decrease in segregation tendency has a dominating effect over the effect of the bed material particle size on the reduction of sintering temperature. In lignite flotsam rich segregating systems, as the tendency of segregation increased the agglomeration started progressively at the upper parts of the bed. Also in this type of segregating beds a pure bed material (jetsam) layer was observed which was grossly loose from the agglomerate.

The agglomeration times, $\Delta t'_{AG}$, were found to be shorter for lignite jetsam systems compared with the flotsam systems, due to the increased combustion of lignites in the lower section the bed in the former case.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ

1.1 Giriş

Türkiye'de enerji sorunu Cumhuriyet tarihi ile yaşıttır. Hızlı bir endüstrileşmeyi amaç edinen ülkemizin artan enerji gereksiniminin tümü ile karşılanamayacağı ve enerji açığının önümüzdeki yıllarda da varlığını sürdüreceği bildirilmektedir [1]. Linyit rezervlerinin hidroelektrik potansiyel ile en önemli doğal kaynaklarımızı oluşturması nedeniyle, ülkemizde 2000 yıllarında linyit tüketiminin günümüzdekine kıyasla, yaklaşık üç kat oranında artacağı tahmin edilmektedir. [2].

Ancak linyitlerimizin ısı değeri 2150 kcal/kg, kükürt oranı ortalama %2.6, kül ve nem içerikleri yüksek, kül yumuşama sıcaklıkları düşüktür. Bunun yanı sıra, özellikleri bölgelere göre ve hatta aynı rezerv sınırları içinde bile çok değişken olabilmektedir. Bu neden ile SO₂, NO_x, CO₂, CO, tanecik ve yanmamış hidrokarbonların yayılımı açısından linyitler büyük bir kirletme potansiyeli oluşturmaktadırlar. Örneğin linyitlerimiz SO₂ kirletme potansiyeli açısından İngiltere kömürlerine ve Amerika'nın termik santral girdisi olarak kullanılan linyitlere kıyasla, sırası ile 4.5, ve 9 kat daha kirletici oldukları saptanmıştır [3]. Ayrıca mevcut termik santral teknolojilerine uygulanacak sıyırma sistemleri ile SO₂ ve NO_x yayılımını azaltmak ekonomik olmamaktadır. Bunun yanı sıra, bu olumsuz özelliklerinden dolayı, linyitlerimizin büyük ölçeklerde sıcak su ve buhar üretimi için söz konusu geleneksel sistemlerle değerlendirilmesi ne çevre sağlığı bakımından ve ne de ekonomik açıdan yeterli bir çözüm getirmemektedir. Düşük ısı değeri ve sinterleşme sıcaklıklarına sahip bu linyitlerin gerek değerlendirilmesi ve gerekse kullanımları sırasında karşılaşılan SO₂, NO_x, poliaromatik hidrokarbonlar ve ince tanecik yayınımlarından kaynaklanan sorunlara daha uygun ve genel bir çözüm getirmesi açısından, akışkan yataklı yakıcıların

kullanılması önem kazanmaktadır. Böylece, ülkemizin büyük yerleşim merkezlerinde zaman zaman tehlikeli boyutlara ulaşan hava kirliliği gerçeği de göz önüne alındığında, linyitlerimizin özelliklerine uygun akışkan yataklı sistemlerin geliştirilmesi kaçınılmaz olmaktadır.

Nitekim coğrafik konumu nedeni ile çok yoğun hava hareketlerine açık olan İstanbul'da bile, Dünya Sağlık Teşkilatı'nın (WHO) saptadığı standart değerlerin 3.5 katına varan SO₂ ölçümleri yapılmıştır [4]. Kabul edilebilir kirletme sınırları içerisinde bile, ormanların ve çevrenin asit yağmurunun etkisi ile önemli ölçüde tahrip olacağı ve yayımlanan polisiklikaromatik hidrokarbonların büyük yerleşim merkezlerinde kansere yakalanma olasılığını uzun vadede önemli ölçüde arttıracığı bilinmektedir [5,6]. Bu durum, giderilmesi mümkün olmayan nitelikte zararlara yol açmaktadır.

Ortak Pazar tarafından Avrupa'da yapılan bir araştırmaya göre Türkiye, Fransa ve İspanya gibi hayli uzakta olan ülkelere kaynaklanan kükürt kirlenmesinin etkisinde kalabilmektedir. Türkiye, Avrupa ülkelerinden kaynaklanan ve ayda toplam 40.000 tona varan ölçekte kükürt kirlenmesi ile karşı karşıya kalmakta; buna karşın, 14.000 ton kükürt ihraç etmektedir [7]. Özellikle endüstrileşmiş ülkelere atılan SO₂ gazının Kuzey Avrupa ülkelerini olumsuz yönde etkilemesi ve doğayı önemli ölçüde kirletmesi büyük tartışmalara neden olmaktadır. Bu konunun, uluslararası düzeyde çeşitli baskı, çalışma ve düzenlemelere konu olması ve uzun vadede sorunun çözümüne yönelik çabaların yoğunlaşmasına yol açması beklenmektedir. Dolayısıyla, dünyadaki en kirletici katı yakıt rezervlerinin birine sahip olan Türkiye için, çevre kontrol teknolojilerinin geliştirilmesi konusunun ivedilikle gündeme alınması gerekmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Linyit yakılan akışkan yataklı sistemlerde kül birikmesi, uçucu madde yanması, yakıtın sinterleşme sıcaklığının düşük olması ve yatakta ayrışmanın başlaması gibi nedenlerle sistemin kararlılığını (stabilitesini) bozan ve yanmanın sürekliliğini sınırlayan aglomerasyon tehlikesi ile

karşılaşılmaktadır. Linyitleri değerlendirmek amacıyla kullanılacak bu tür sistemler için yapılacak tasarımda, aglomerasyonun göz önünde bulundurulması ve bunu önlemek için gerekli önlemlerin alınması zorunludur. Aksi taktirde, karşılaşılabilecek durumda akışkan yatağın diğer yakma sistemleriyle rekabet etmesi söz konusu olamaz, çünkü aglomerasyonun gerçekleşmesinden sonra, sistem, ancak kazma ile sökülebilecek türden bir katı haline dönüşmektedir, başka bir deyimle bağlamaktadır. Çan linyitleri ile gerçekleştirilen bir çalışmada yoğun (batışan, jetsam) yatak malzemesi ve daha hafif (yüzüşen, flotsam) linyit taneciklerinden oluşan ikili sistemler incelenmiş ve yapılan gözlemler, bağlama olayının bu koşullarda ayrışma-aglomerasyon aşamalarından geçerek gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Sonuçta, buna dayanılarak sistemin kontrolü konusunda bazı önerilerde bulunulmuştur [8].

Bu çalışmada ise Göynük linyitinin akışkan yataktaki yanma koşulları belirlenmiş ve linyit batışan sistemlerde araştırmanın kapsamı içerisine alınmıştır. Çalışma sırasında yatak malzemesinin türü, yatak malzemesi ve linyitin tanecik büyüklüğü ile yatak yüksekliği/yatak çapı oranı (H/D) seçilmiş ve bunların aglomerasyona olan etkisi araştırılmıştır. Aglomerasyon olayı, yatak içi hidrodinamik davranış ve ısı transfer özellikleri ile el ele gelişen bir olay olduğu için, değişik koşullarda yatak içinde ve serbest bölgede gerçekleşen dağılımları da, aglomerasyona ışık tutması açısından, incelenmiştir. Pilot ölçekli daha büyük bir akışkan yatağın devreye alınmasına hazırlık olmak üzere, yatak çapının büyütülmesi ve büyük oranlarda anorganik kütleler içeren akışkan yataklara uygulanabilecek bir ön ısıtma sisteminin geliştirilmesi de amaç olarak benimsenmiştir.

BÖLÜM 2. KAYNAK TARAMASI

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan Göynük linyitinin, Şile kumundan oluşan bir akışkan yatakta kararlı yanmasını sağlayacak sınırların ve koşulların belirlenmesi amacıyla incelenen, yatak içi ısı dağılımı, yatak ayrışması, sinterleşmesi ve aglomere olması gibi konularla ilgili literatür bilgileri değerlendirilmiştir. Akışkan yataklar, akışkan yataklarda yanma, akışkan yatak teknolojisinin çevre kirliliği açısından konumu gibi konular, yayımlanmış çok sayıdaki kaynakta [9-33] ayrıntılı bir şekilde irdelendiğinden, burada ayrıca üzerinde durulmasına gerek görülmemiştir.

2.1. Aglomerasyona Yatkın Akışkan Yataklarda Yatak İçi Sıcaklık Dağılımı

Akışkan yataklarda akışkanlaşma, sürtünme, Archimed kaldırma ve yerçekimi kuvvetleri ile kinetik enerji ve sinterleşme kuvvetleri arasında oluşan dengeye bağlı olmak üzere minimum akışkanlaşma hızının üzerindeki hızlarda gerçekleştirilmektedir. Bu durumda sistem, ilk sinterleşme sıcaklığının üzerindedir ve herhangi bir nedenle bozulan akışkanlaşmanın tekrar kararlı bir süreç haline getirilebilmesi, uygulanacak önlemlere ve sistem üzerindeki etkili olan kuvvetlerin durumuna bağlıdır. Aglomerasyonun önlenmesi açısından, sistemin özelliklerinin çok iyi bilinmesinin yanı sıra, yatak içinde herhangi bir noktada bile olsa, sıcaklığın sinterleşme sıcaklığına yükselmemesi gerekmektedir. Bu bakımdan yatak hacminde sıcaklık dağılımının zaman içerisindeki gelişimi, sistemin kararlılığı hakkında önemli ip uçları verebilir.

Atakül [8], Çanakkale Çan bölgesinden sağlanan ve değişik özelliklere sahip üç değişik linyit numunesini akışkan yatakta yakarak, aglomerasyonda rol alan çeşitli parametrelerin yatak içi sıcaklık dağılımına olan etkisini de incelemiştir. Söz konusu deneylerde 0.11 m çapındaki bir akışkan yatakta, yatak malzemesi olarak çoğunlukla kuartz kumu kullanılmıştır. Kömür tanecik boyutunun, yapılan deney koşulları altında, sıcaklık dağılımını önemli ölçüde etkilemediği ancak tanecik boyutu küçüldükçe serbest bölge ve aktif yatak sıcaklıkları arasındaki farkın giderek azaldığı saptanmıştır. Bu davranış, küçük taneciklerin aktif yatağın üst kesitlerine ve/veya serbest bölgeye sürüklenmesine ve yüksek oranda uçucu madde içeren linyitlerin yatak yüzeyine doğru yoğunlaşarak yanmalarını bu bölgelerde sürdürme eğilimlerine bağlanmıştır [33,34,35,36]. Yatak malzemesinin tanecik boyutunun büyüülmesi ise, ayrışma eğilimini arttırmış ve yanmayı serbest bölgeye kaydırmıştır. Bu etkinin kuartz kumu içeren yataklarda çok daha belirgin bir şekilde görülmesi, kuartz kumunun yoğunluğunun linyite kıyasla çok daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Büyük boyutlardaki kuartz kumu tanecikleri ile kararlı yanmanın sağlanamaması ise, yine bu nedenle ortaya çıkan aşırı ayrışmanın olumsuz etkisine bağlanmıştır. Hava hızının arttırılması ile tüm yatak sıcaklıklarında önce bir düşme görülmüş, daha sonra tersi bir gelişme ile sıcaklıklar artmış ve bir maksimumdan geçtikten sonra tekrar düşmüştür. Hava hızının arttırılması ile yatak içi sıcaklıklarda hızla bir düşme görülmesine karşın, serbest bölge sıcaklıklarında bir azalma olmamıştır. Bu gelişme daha önce de belirtildiği gibi, küçük taneciklerin serbest bölgeye taşınarak burada yanmalarından [37,38,39] ve uçucu madde yanması linyitin, taneciklerinin malzeme yoğun sistemlerde, serbest bölgede yoğunlaşmasından ileri gelmektedir.

Dinamik yatak yüksekliği/yatak çapı (H_D/D) oranlarının 0.91, 1.36, 1.82, 2.72 olduğu koşullarda yapılan deneylerde, dinamik yatak yüksekliği arttıkça yatak içerisinde daha tekdüze bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Halbuki akışkan yatak hidrodinamiğine göre, H_D/D oranı arttıkça akışkanlaşma kalitesinde bir bozulma beklenmektedir [10]. Ayrıca Horio ve Wen [40] geri dönüşlü akış modeli kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada, yatak yüksekliği arttıkça yataktaki tekdüzeliğin kaybolduğunu saptamışlardır. Dinamik yatak yüksekliğinin sıcaklık dağılımını olumlu bir şekilde etkilemesi, Botterill [11], Geldart

v.ç.a [41], Nienow ve Chiba [42], ile Atakül v.ç.a [43] tarafından da belirtildiği gibi, karışma etkinliğini arttıran yatak malzemesine ince fraksiyonlarının yatakta kalma eğiliminin artmasından kaynaklanmaktadır.

Statik yatak yüksekliğinin yatak içi sıcaklık dağılımına etkisini görmek üzere gerçekleştirilen deneylerde, dinamik yatak yüksekliği sabit tutularak statik yatak yükseklikleri değiştirilebilir. Çan-3 linyit numunesinin yakıldığı akışkan yatakta, statik yatak yüksekliğinin artması ile, göreceli olarak, daha tekdüze bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Ancak zamanla, kül birikmesi sonucu, sıcaklık dağılımının bozulduğu görülmüştür. Yatak malzemesi olarak kullanılan dolomit, kireçtaşı ve kuartz kumundan ilk ikisi daha tekdüze bir sıcaklık dağılımı verirken, kuartz kumu içeren yatakta sıcaklık dağılımı zamanla gittikçe bozulmuştur. Bu davranım, kuartz kumunun, linyit külüne kıyasla çok daha yoğun olmasına ve inert bir madde olması nedeniyle, tanecik boyutunun deney süresince önemli ölçüde değişmemesine bağlanmıştır.

Çan-1, Çan-2 ve Çan-3 linyit numuneleri yakılarak, linyit türünün yatak sıcaklık dağılımına olan etkisini görmek üzere yapılan deneylerde, Çan-1 linyiti, benzer davranım gösteren Çan-2 ve Çan-3'e kıyasla daha tekdüze bir sıcaklık dağılımı sağlamıştır. Yüksek uçucu madde içeren linyitlerin yatağın üst kısımlarında yanma eğilimi gösterdiği yönündeki görüşlerle [31,33,34,44] çelişen bu durum, Çan-1 linyitinde kül oranının çok daha az olması ve parçalanıp yatağı terk etmesi sonucu yatakta kül birikiminin düşük oranlarda kalmasına bağlanmıştır. Diğer taraftan, Çan-2 ve Çan-3 linyitlerinin yüksek kül içerikli olmaları ve yatakta büyük miktarlarda külün birikmesi sonucu, ayrışmaya neden oldukları belirtilmiştir.

Bütün bu deneysel gözlemlerden hareket edilerek, süreç boyunca yatakta gerçekleşen sıcaklık dağılımlarının sistemin aglomerasyona olan yatkınlığının bir göstergesi olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Kullanılan, linyit ve yatak malzemesinin özelliklerinden dolayı, zamanla yatakta, biri linyit ve/veya kül taneciklerinin oluşturduğu yüzüşen ve diğeri de yatak malzemesinin oluşturduğu batışan özellikte olmak üzere, başlayan tabakalaşma ve ayrışmanın sıcaklık dağılımını önemli ölçüde etkilediği anlaşılmıştır. Bu gelişmeler, aglomerasyonun bir ön aşaması olarak

gerçekleşmekte ve gerekli önlemlerin alınabilmesi için belirli bir süre sağlamaktadır. Kuartz kumu-Çan linyitleri karışımı için, durgunlaşma süresi olarak ta tanımlanan bu sürenin, çalışma koşullarına bağlı olarak, 3 ila 10 dakika arasında değiştiği saptanmıştır. Aglomerasyon olayında, ayrışma ve akışkanlığın kaybedilmesi (defluidisation) olayları iç içe geliştiğinden, diferansiyel sıcaklık ve basınç düşüşü değerleri paralellik göstermiştir. Whalley ve Dykstra'da [45], benzer şekilde, diferansiyel sıcaklık dağılımı ile aglomerasyon arasındaki ilişkiye dikkati çekmişlerdir.

2.2. Aglomerasyona Yatkın Akışkan Yataklarda Ayrışma

2.2.1. Taneciklerin Boyut ve Yoğunluk Farkından Kaynaklanan Ayrışma

Dar bir boyut aralığına sahip ve tek bir bileşen gibi davranabilen tanecik karışımlarını içeren akışkan yataklarda, gerek soğuk ve gerekse sıcak operasyon koşullarında kararlı bir akışkanlaşmanın sağlanması ve sürdürülmesi kolay olmaktadır. Ancak, yatağa beslenen tanecik boyutunun geniş bir aralığa dağılması ve/veya yatak içerisinde değişik yoğunluklara sahip malzeme karışımlarının bulunması durumunda, akışkan yatakta zamanla iri ve yoğun taneciklerin yatağın alt, ince ve hafif taneciklerin ise yatağın üst bölgelerinde yoğunlaşması nedeni ile ayrışma başlamaktadır.

Hiç şüphesiz, yatakta ayrışma ve durgunlaşmanın başlamasında ve gelişmesinde etkin olan diğer önemli bir parametre de gaz hızıdır, çünkü iki faz teorisine göre akışkan yatakta karışma büyük ölçüde habbelerin hareketi ile sağlanmaktadır [46]. Habbeleşme, akışkanlaşma hızı ile minimum akışkanlaşma hızı arasındaki farktan doğan bir olaydır. İki faz teorisinin basitleştirilmiş tanımına göre, emülsiyon fazı, minimum akışkanlaşma hızında, tanecikleri içeren fazdır. Minimum akışkanlaşma hızının üzerindeki hızlarda yatakta emülsiyon fazının yanı sıra habbecik fazını da oluşturmaktadır. Habbeler yatak içerisinde yükselirken, alt bölgelerden aldığı katıları, bir miktar dökülme ile birlikte, kuyruk (wake)

kısımında beraberlerinde taşınırlar. Ayırışma eğiliminin olmadığı durumlarda, yatak gelişigüzel ve etkin bir karışma içinde bulunur [12].

Akışkan yataklarda, habbeler yoğunlukla yatak cidarından uzaklaşarak merkeze doğru hareket etme eğiliminde olduklarından, bu habbeler tarafından üst bölgelere taşınan tanecikler yatağın cidarlarına yakın bölgelerde aşağıya doğru akarlar [47]. Farklı boyut ve/veya yoğunluklara sahip taneciklerden oluşan akışkan yataklarda, küçük ve hafif tanecikler, genellikle, üst bölgelerde, daha iri ve yoğun tanecikler ise alt bölgelerde toplanma eğilimi gösterirler. böyle bir sistemde, üst bölgelerde yoğunlaşan tanecikler "yüzüşen(flotsam)", alt bölgelerde toplananlar ise "batışan(jetsam)" tanecikler olarak isimlendirilmektedir [47,48]. Bir karışımı meydana getiren tanecikler, genel olarak, Chiba v.ç.a. [49] tarafından önerilen ve Tablo 2-1 de verilen kıstaslar temel alınarak yüzüşen veya batışan olarak tanımlanabilmektedir.

Bu tablo gözden geçirilirse, yoğunluk farkının olmadığı durumlarda büyük taneciklerin batışan oldukları görülür. Eğer bir yoğunluk farkı varsa, daha yoğun tanecikler batışan bileşen davranımını gösterir. Bu açıklama 1. ve 2. durumlar için geçerlidir. 3a durumu, gerçekte bir akışkan yatak rejimi değildir. 3b durumunda ise, çok küçük ve yoğun tanecikler, ancak iri tanecikler içinden sürüklenerek yüzer konuma geldikleri zaman "yüzüşen tanecikler" olarak nitelenebilirler. Ancak, büyük ve hafif taneciklerin iyice akışkanlaşmaya başladığı koşullarda, bu ince tanecikler tekrar birer batışan bileşen olarak davranmaya başlarlar. Tek bileşenli sistemlerde olduğu gibi, ikili karışımlarda da taneciklerin hareketleri ve karışımları yine habbecikler tarafından sağlanmaktadır. Bu durumda iki faz teorisi en basit hali ile aşağıdaki şekilde ifade edilebilirler:

$$\frac{Q_B}{A} = U - U_{mf} \quad (2.1)$$

Burada Q_B hacimsel habbe debisi, U akışkanlaşma gaz hızı, U_{mf} minimum akışkanlaşma hızı ve A akışkan yatağın kesit alanıdır.

Sistemde iki bileşen bulunduğu için, iki tane de minimum akışkanlaşma hızı olacaktır. Akışkanlaştırıcı gazın hızı yavaş yavaş azaltıldığı takdirde, önce daha yüksek akışkanlaşma hızına sahip olan tanecikler akışkanlığını kaybederler, gaz hızının daha da düşürülmesi durumunda ikinci bileşen de akışkanlığını yitirerek durgunlaşır. Eğer iki bileşenden birisi, daha büyük ve daha yoğun ise bu durumda sistem akışkanlığını ne şekilde yitirirse yitirsin, operasyon tam bir ayrışma ile sonuçlanmaktadır, Şekil 2-1a. Bu koşullarda karışımın içerdiği durgun (P) ve yüzen (F) taneciklerin minimum akışkanlaşma hızlarını (U_p ve U_f), ayrı ayrı belirlemek mümkündür. En üst ve en alt bölgeleri, sırası ile yüzüşen zengin ve batışan zengin özellikteki, ara bölgelerin ise karışma halindeki tabakalardan oluştuğu akışkanlarda, gazın hızı, U_p de U_f 'e ($U_p > U_f$) gidecek şekilde, düşürülürse, Şekil 2-1b'de görüldüğü gibi, sürekli bir çökme, başka bir deyimle, sürekli bir akışkanlaşma kaybı söz konusu olacaktır. Eğer söz konusu bileşenler yalnızca boyut açısından bir farklılık gösteriyorsa ve gazın hızı da süratle azaltılıyorsa, o zaman karışım Şekil 2-1c'de görülen bir sistem haline gelir. İki bileşenin yoğunlukları eşit ve tanecikler arasındaki boyut farkı küçükse,

Tablo 2-1 İki Bileşenli Sistemlerde Taneciklerin davranımı [49].

1. Durum Boyut oranı : ~ 1

- 1a Yoğunluk oranı $\rho_R=1$; daha büyük bileşen batışandır.
1b Yoğunluk oranı $\rho_R>1$; ağır bileşen batışandır.

2. Durum Büyük bileşen >> küçük bileşen

Küçüklerin oranı : %100

- 2a Büyük bileşen, küçük bileşenden daha yoğunsa; büyük tanecikler batışandır.
2b Küçük bileşen daha yoğunsa; küçük tanecikler batışandır.

3. Durum Büyük bileşen >> küçük bileşen

Büyüklerin oranı: %100

- 3a Büyük bileşen, küçüklerden daha yoğunsa; küçük tanecikler yataktan taşınır.
3b Küçük bileşen daha yoğunsa; her ikisi de batışandır.

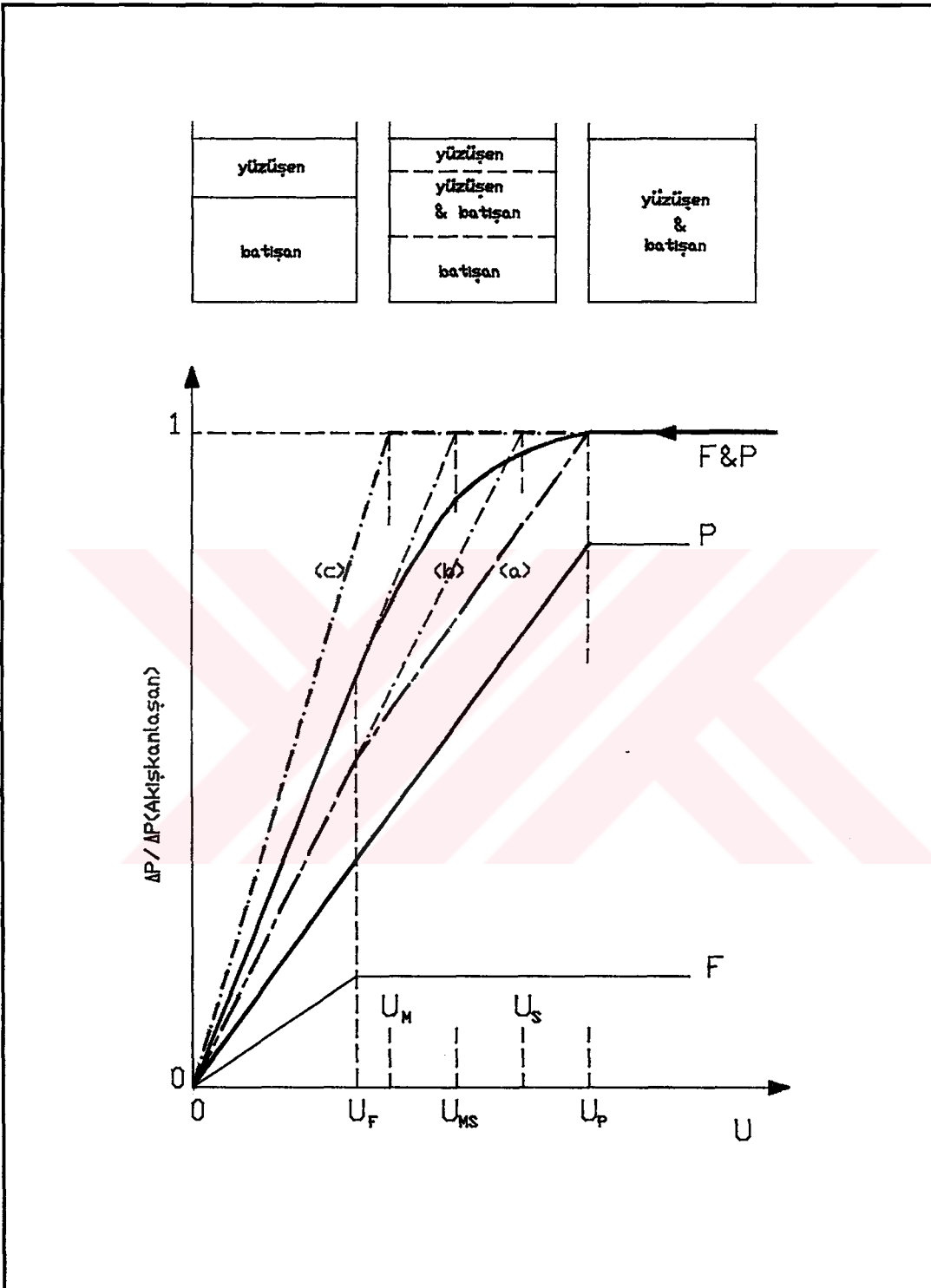
akışkanlaşmayı kaybettirme yönteminden bağımsız olarak, dengeli bir karışım elde edilir. İkili sistemler için yatak basınç düşüşü ile karakteristik hızlar (U_p , U_f , U_{ms} , U_s , U_m) arasındaki ilişki Şekil 2-1'de gösterilmiştir. Burada U_m , U_{ms} , U_s sırası ile tamamen karışan, kısmen karışan ve tamamen ayrılmış sistemlerin U_p ile çökmüş (durgun) haldeki taneciklerin minimum akışkanlaşma hızını göstermektedir.

Tanecik büyüklükleri ve yoğunlukları farklı olan ikili sistemlerde, minimum akışkanlaşma hızı, yataktaki karışma etkinliğine ve akışkanlaşan komponentin hacimsel oranına bağlıdır. Chiba v.ç.a [50], akışkan yatakta gelişen ayrışmayı, basınç düşüşü ölçümleri ile, Whalley ve Dykstra [45] ise, yanma sistemlerinde, aynı olayı diferansiyel ısı çiftlerinden yararlanarak izlemişlerdir. Atakül [8], linyit yüzüşen-yatak malzemesi batışan olmak üzere başlangıçta 3b tipi rejim özelliklerini taşıyan akışkan yataklarla yürüttüğü deneysel çalışmalarda, diferansiyel ısı çift ve basınç düşüşü ölçümlerini bir arada kullanarak ayrışma ve aglomerasyon süreçlerini incelemiştir. Atakül'ün çalıştığı sistemlerin çoğu, zamanın ilerleyişine paralel olarak kül yüzüşen zengin türü rejimlere dönüşmüştür. Yardım [32] Çan linyiti ile Yatağan linyitini kıyaslayarak yaptığı akışkan yatak yanma deneylerinde ayrışma ve aglomerasyon sürecini incelemiştir. Çan linyitinin Yatağan linyitine göre daha düşük sıcaklıklarda aglomere olmasını Na_2O içeriğine bağlamaktadır. Ayrıca dağıtıcı eleğin etkinliğine etkisini gözlemek üzere deneyler yapmıştır.

2.2.2. Ayrışma Tipleri

2.2.2.1. Yüzüşen Zengin Sistemler

Yüzüşen ve batışan taneciklerle ilgili olarak, yukarıda irdelenen kuralları, hacim olarak %50'den daha düşük oranlarda, batışan özellikteki tanecikleri içeren ikili bir karışıma, uygulayarak ayrışmayı inceleyen Nienow v.ç.a'nın [42, 47] bulduğu sonuçlar Şekil 2-2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2-1 Farklı Boyut ve Yoğunluklara Sahip Katı Taneciklerden Oluşmuş Akışkan Yataklarda, Yatak Basınç Düşüşü ve Gaz Hızı Arasındaki İlişki [42].

Minimum akışkanlaşma hızından çok büyük olmayan gaz hızlarında, yatağın alt kısımlarında tamamen batışan taneciklerden oluşan bir tabaka ayrışırken, yatağın üst kısımlarında batışan tanecik derişiminin düşük olduğu, görece daha tekdüze bir dağılım elde edilmiştir. Gaz hızının arttırılması ile birlikte batışan taneciklerin, yatağın üst bölgelerdeki derişimi artmakta, buna karşılık alt bölgelerdeki derişimi ise düşmektedir (3b durumu). Eğer gaz hızı daha da arttırılıp şiddetli bir karışma sağlanırsa, batışan tanecikler alt ve üst bölgelerde daha tekdüze bir şekilde dağılır, böylece yüzüşen tanecikler açısından, yatakta ortalama bir derişim değerine (x) ulaşmak mümkün olur.

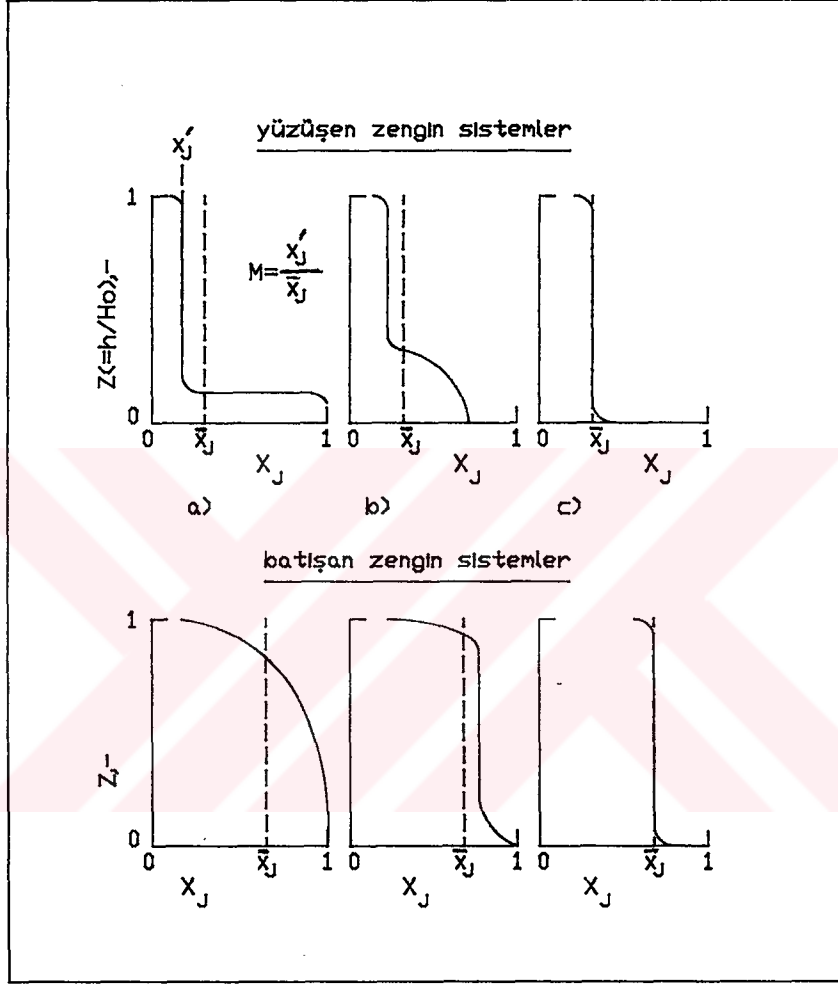
2.2.2.2. Batışan Zengin Sistemler

Batışan taneciklerin ikili karışımındaki hacimsel oranlarının %50'den fazla olduğu durumlarda, Şekil 2-2'de gösterilen ayrışma rejimleri elde edilmektedir. Bu koşullarda sistemde, çok düşük hızlarda dahi, yüzüşen tanecikler açısından zengin olan karışımlarda görülen ve sadece bir komponentten oluşan bir tabakalaşma görülmektedir. Bu tür sistemlerde, gaz hızının artışına paralel olarak karışma etkinliği de artmaktadır. Buna karşılık düşük hızlarda ayrışma eğilimi belirmektedir.

Akışkan yataklı yakma sistemlerinde yanma, genellikle yanıcı maddelerin, daha büyük oranlarda ve daha yoğun yatak malzemesi ile karışarak yanması şeklinde gerçekleşmektedir. Bu koşullarda, linyit yakılan akışkan yatakta linyit tanecikleri, yüzüşen zengin ayrışma sistemini oluştururlar. Uçucu madde miktarı arttıkça, taneciklerin yatağın üst bölgelerinde yanmalarını sürdürme yönündeki eğilimi de gittikçe güçlendiğinden [31, 33, 34, 36], uçucu madde içeriği ayrışmaya olan yatkınlığı arttırmaktadır.

Nienow ve Chiba [42], akışkan yatakta yanma olayına ışık tutabilmek amacıyla, tek bir kok taneciğinin yatak içerisindeki hareketini incelemişlerdir. Bu çalışmalarda 13.9 mm çapındaki bir kok taneciği ve 0.243 ile 0.461 mm'lik ballotoni tanecikleri için elde edilen penetrasyon derinlikleri Şekil 2-3'de verilmiştir. Burada yatak yüksekliği (H), 0.10 ile 0.23 m arasında değiştirilmiştir. Nienow ve Rowe [51], ayrışma olayında

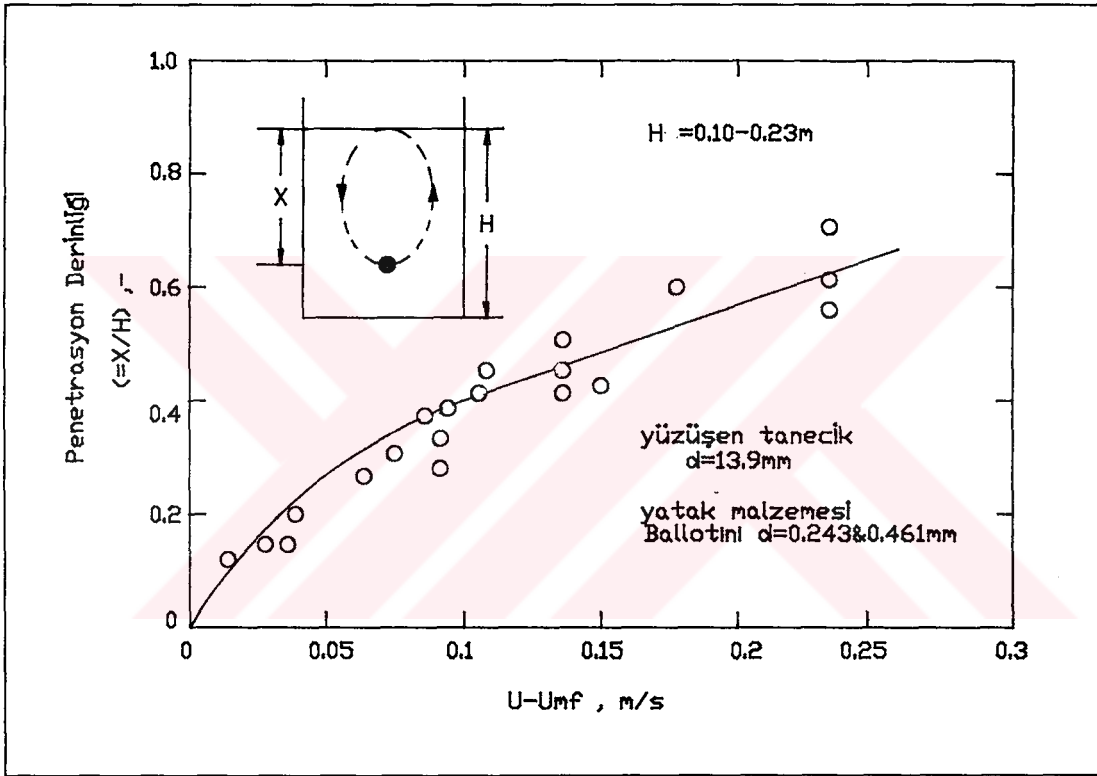
önemli rol oynayan tanecik boyutu ve yoğunluk parametrelerinin etkisini, batışan tanecik fraksiyonunun (X_j), 0.15'den küçük olduğu durumları için, aşağıdaki eşitlikle tanımlamışlardır.



Şekil 2-2 Deneyssel Olarak Elde Edilen Ayrışma Rejimleri [42, 47].
 X_j : yüzüşen zengin bir akışkan yatakta, batışan taneciklerin üst bölgedeki ağırlık fraksiyonu, $\bar{X}_j$: batışan taneciklerin tüm yatak içindeki oranı, M : karışma indeksi.

$$M = \left(\frac{\rho_a}{\rho_h} \right)^{2.5} \left(\frac{d_B}{d_K} \right)^{0.2} \quad (2.2)$$

Burada, M karışma indeksi, ρ_h ve ρ_a , sırası ile hafif ve ağır taneciklerin yoğunluklarını, d_B ve d_K ise yine sırası ile büyük ve küçük taneciklerin çapını göstermektedir.



Şekil 2-3 Akışkan Yatakta Yüzüşen Taneciğin Hareketi [42].

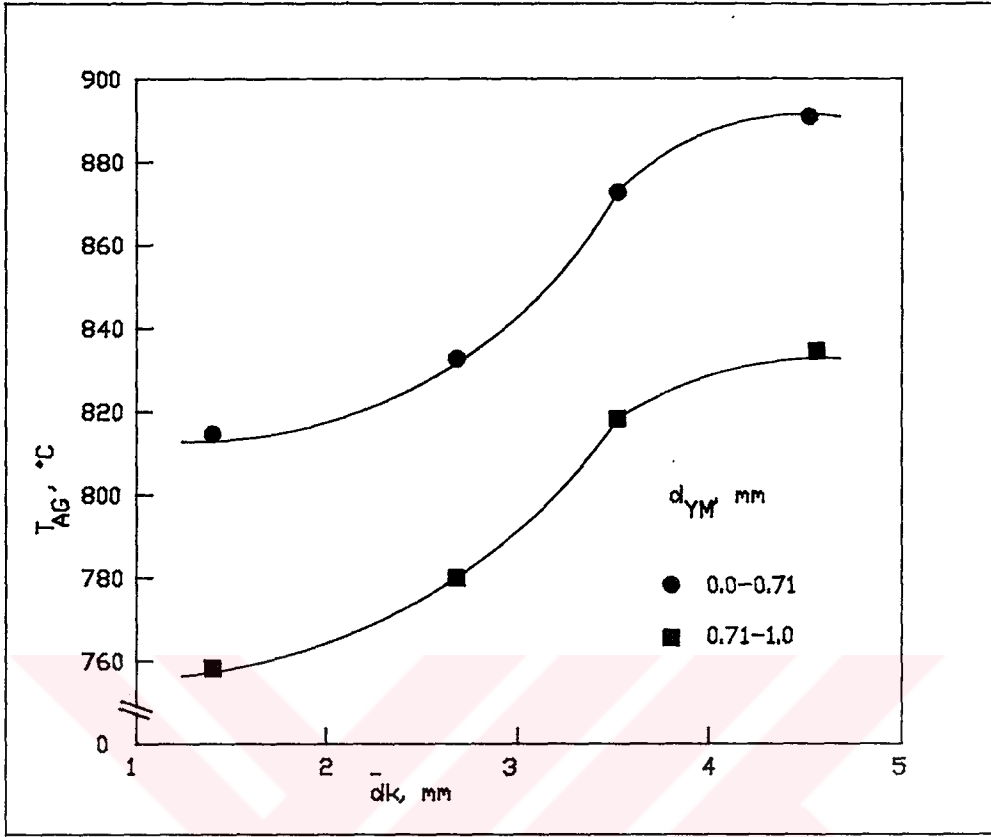
Bu eşitlik, söz konusu sistem için, yoğunluğun çok daha etkin bir parametre olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, Nienow v.ç.a [47] çok büyük ve tabakamsı bazı cisimler dışında, tanecik şeklinin ayrışmada çok önemli bir etken olmadığını bildirmişlerdir. Chen ve Keairns [52] ise, sıcaklık ve basınçtaki artış ile ayrışma eğiliminin azaldığını öne sürmektedirler.

2.3. Kül Sinterleşme Sıcaklığı

2.3.1. Kül Yumuşama, Sinterleşme ve Aglomerasyon İlişkileri

Son yıllara kadar, akışkan yataklı sistemlerde aglomerasyon konusunda kıstas olarak kül yumuşama sıcaklığı kullanılmıştır. Nitekim Hindistan kömürleri üzerinde çalışmalar yapan, Abbi v.ç.a [53], kül yumuşama sıcaklığından 250 K düşük sıcaklıklarda yakılan sözkonusu kömürlerin herhangi bir aglomerasyon eğilimi göstermediğini bildirmiştir. Literatürde, yanan karbon taneciği sıcaklığının, ortalama yatak sıcaklığından yaklaşık olarak 200 K kadar daha yüksek olduğu belirtilmektedir [18]. Bu değer, Hindistan'lı araştırmacıların buldukları değerlerle uygunluk göstermektedir. Kolodney v.ç.a'nın [54], sıcak karbon taneciklerinin içerdikleri mineral maddelerin, kılcal etkilerle katı yüzeyine çıkıp yapışmaya ve aglomerasyona neden olabilecekleri şeklindeki saptamaları ile Saxena ve Rahmet'in [55] daha yüksek bir iç sıcaklıkta yanan taneciklerin mineral maddesinin eriyeceği yönündeki görüşleri, yukarıda sözü edilen kül yumuşama sıcaklığı ve aglomerasyon ilişkisini irdelemeleri ile paralellik göstermektedir.

Akışkan yataklı yakma sistemlerinde, operasyon başlangıcında, aglomerasyonun nasıl gelişeceği konusunda bir öngöründe bulunmak oldukça zordur. Çünkü, yatak içi sıcaklık dağılımında meydana gelen olumsuz gelişmeler ve yatakta, yapışma özelliğine sahip çok miktarda mineral maddenin birikmesi gibi nedenlerle oluşan yeni dengeler, minimum akışkanlaşma hızını belirleyici bir kriter olmaktan çıkarabilmektedir. Bu koşullar, taneciklerin başlangıçtaki büyüklüklerine ve dağılımlarına, gazın basıncına ve nemine, taneciklerin yüzey yapısına, dağıtıcı eleğin geometrisine ve önemli ölçüde de aglomerasyonun gelişme şekline bağlıdır. Bu nedenle de, değişik parametreler yatağın bağlama sıcaklığını önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Nitekim Atakül'ün [8] çalışmalarında, Çan-3 linyiti için, yatak yüksekliği 0.1 m'den 0.3 m'ye çıkartıldığı zaman, 2-3 mm boyutundaki linyit taneciklerinin bağlama sıcaklığı 870°C'den 968°C'e çıkmıştır. Yine Çan-3 linyiti için tanecik büyüklüğünün 1.5 mm'den 4.5 mm'ye çıkartılmasıyla aglomerasyon 815°C(1088K) den 890°C(1163K) ye çıktığı görülmüştür [8], Şekil 2-4.



Şekil 2-4 Aglomerasyon Sıcaklığının Kömür Tanecik Boyutu ile Değişimi [8].

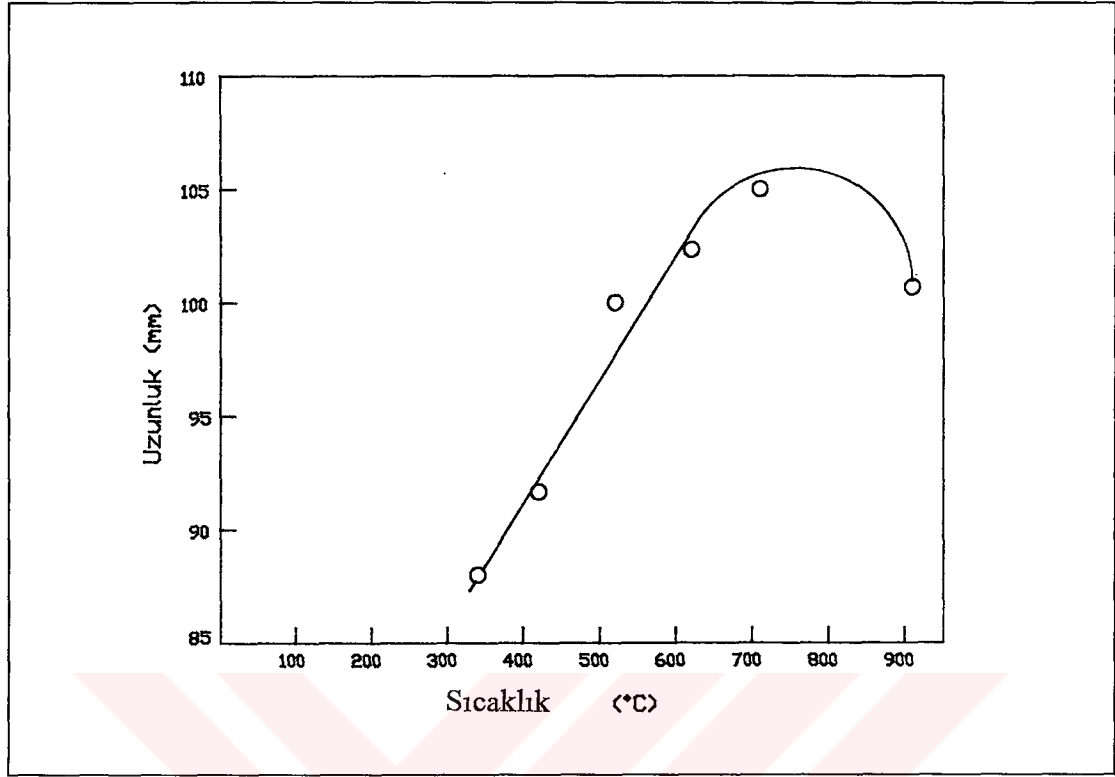
Aynı şekilde, benzer koşullar altında, Çan-3 linyitinin aglomerasyon sıcaklığı, dolomitin yatak malzemesi olarak kullanıldığı ortamda, 780°C (1053K) den 860°C (1133K) e çıkmıştır. Bu değerler ile Çan-3 linyitinin kül yumuşama sıcaklığı olan, 1227°C (1500K) değeri karşılaştırıldığı zaman, kül yumuşama sıcaklığının, aglomerasyon için her zaman kıtas olmayacağı anlaşılmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, kül yumuşama sıcaklığının değil, sinterleşme sıcaklığının aglomerasyon için daha belirleyici bir özellik olduğunu ortaya koymuştur. Gluckman v.ç.a [56] ve Siegel [57] bakır bilyalar, cam kürecikler, polimerik granüller ve kömür külü ile aglomerasyon deneyleri yapmışlardır. Tanımlanan bir gaz sıcaklığı ve tanecik boyutunda, yatağın U_{mf} hızında akışkanlaşabildiği fakat

minimum sinterleşme sıcaklığı olarak tanımlanan T_s sıcaklığının üstünde, ancak daha yüksek hızlarda, kararlı akışkanlaşmanın sürdürülebildiği gözlenmiştir. Bu araştırmacıların yüksek sıcaklıklarda yaptıkları geri akışkanlaştırma (defluidization) çalışmaları sonunda, sinterleşme sıcaklıklarından daha yüksek sıcaklıklarda taneciklerin hareketinin güçleştiği ve akışkanlaşmanın bozulduğu anlaşılmıştır. Sinterleşme sıcaklığının ölçülebilmesi için dilatometrik yöntem geliştirilmiştir [58, 59].

2.3.2. Sinterleşme Sıcaklığının Ölçülmesi

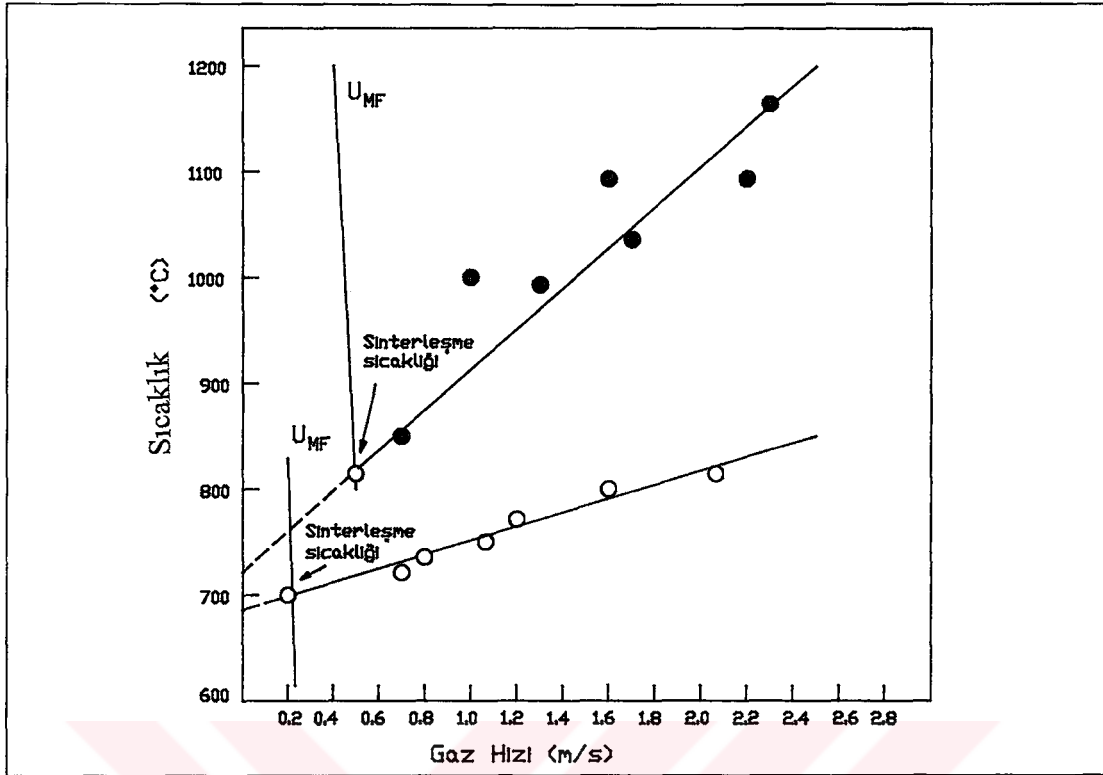
Basu [58] tarafından yapılan kül sinterleşme deneylerinde, akışkan yatakta, %50 hava fazlalığı ile gerçekleştirilen yakma sonucunda, elde edilen ve tanecik boyutu belirli olan kömür külleri dilatometrenin silika tüpü içerisine doldurulmuştur. Tüpteki kül yatağının üzerine, ısıl genleşmesi ihmal edilebilecek kadar küçük olan nikel bir piston oturtulmuştur. Pistonun ortasındaki bir delikten tüpün içerisine daldırılan bir ısıl çift aracılığıyla, sıcaklık, sürekli olarak ölçülmüştür. Ayrıca kül yatağının yüksekliğinde meydana gelen değişiklik, pistonun hareketinden yararlanılarak, yine sürekli olarak izlenmiştir. Isıtılan kül yığınının boyunda meydana gelen değişme, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 2-5'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, kül yığınının boyu, başlangıçta sıcaklıkla orantılı olarak artmaktadır. Sıcaklık, belirli bir değere ulaştıktan sonra, kül yığınının boyunda meydana gelen artış durmuş ve bir maksimumdan geçtikten sonra, ters yönde bir kısalma başlamıştır. Zıt yönlerden etkiyen çeşitli kuvvetlerin birbirlerini dengelediği bu dönüm noktasına karşı gelen sıcaklık, ilk sinterleşme sıcaklığı (T_s) olarak tanımlanmaktadır. Basu'nun [58], çeşitli boyutlardaki kül tanecikleri için dilatometrik olarak ölçtüğü sinterleşme sıcaklıkları Tablo 2-2 de verilmiştir. Tablodaki değerlerden de görüldüğü gibi, ilk sinterleşme sıcaklığı, kül tanecik boyutunun küçülmesi ile artmaktadır. Basu [58], akışkan yatakta yaptığı geri akışkanlaşma deneylerinde, akışkanlaşmanın kaybolduğu hız değerini saptamıştır. 0.7-1.0 mm ve 1-1.4 mm boyutundaki tanecikler için bulunana değerler Şekil 2-6 da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, aglomerasyon, minimum akışkanlaşma hızından daha büyük hızlarda başlamıştır.



Şekil 2-5 1.0-1.4 mm Boyutundaki Kömür Külü Taneciklerinin Dilatometrik Davranımı [58].

Tablo 2-2 Kül Sinterleşme Sıcaklığının Tanecik Boyutu İle Değişimi [58].

Tanecik Boyutu, mm	Ortalama Tanecik Boyutu, mm	Sinterleşme Sıcaklığı, °C
1.0-3.0	1.90	930
1.0-1.4	1.10	820
0.7-1.4	1.00	800
0.7-1.0	0.80	720
0.5-1.0	0.75	700
0.5-0.7	0.65	695



Şekil 2-6 Kömür Külüleri İçin Sinterleşme Sıcaklıklarının Geri Akışkanlaşma İle Belirlenmesi [58].

Yine aynı araştırmacının, iki farklı boyuttaki kül tanecikleri için dilatometrik olarak ölçtüğü sinterleşme sıcaklıkları ile minimum akışkanlaşma koşullarındaki akışkan yatakta saptadığı sinterleşme sıcaklığı değerleri Tablo 2-3'de derlenmiştir. İki ayrı yöntemle belirlenen değerler birbirlerine çok yakın olmuştur. Squires'e [60] göre ise, sinterleşme sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda yürütülen operasyonlarda, minimum akışkanlaşma olgusunun, aglomerasyon açısından bir anlamı kalmamaktadır.

Tablo 2-3 Dilatometre ve Geri Akışkanlaşma İle Ölçülen Sinterleşme Sıcaklıkları [58].

Külün boyutu,mm	Sinterleşme Sıcaklığı, °C	
	Dilatometrik Yöntemle Ölçülen Değerler	Geri Akışkanlaşma Deneyleri İle Ölçülen Değerler
1.0-1.4	810	815
0.7-1.0	720	700

2.4. Akışkan Yataklı Sistemlerde Aglomerasyon

Akışkan yataklı sistemlerde yanma, geleneksel sistemlere kıyasla 400-600°C daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Buhar üretimi açısından, yanmanın daha yüksek sıcaklıklarda sürdürülmesi avantajlıdır. Ancak, akışkan yataklı sistemlerde karşılaşılan aglomerasyon olayı çalışma sıcaklığını sınırlamaktadır. Akışkan yataklarda, aglomerasyon başlamadan önce, sistem genellikle, bir durgunlaşma aşamasından geçmektedir. Bundan dolayı, aglomerasyon olayının, yataktaki gaz hızının bazı taneciklerin minimum akışkanlaşma hızının altına düşmesinden kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Ancak, akışkan yataklarda çalışma sınırını, sinterleşme sıcaklığının üzerinde sürdürülen yanma süreçlerinde geri akışkanlaşma (defluidization), bu sıcaklığın altında gerçekleştirilen süreçlerde ise minimum akışkanlaşma hızı belirlemektedir [57]. Sinterleşme sıcaklığı üzerindeki sıcaklıklarda çalışan yataklarda, aglomerasyon ile kül yumuşama sıcaklığı arasında net bir ilişki görülmemektedir, (Bölüm 2.3.2). Nitekim yatağın hızlı bir şekilde ısıtıldığı bazı çalışma koşullarında, Avusturalya kömürleri 710 K de aglomerasyona uğrayabilmiştir [61]. Bazı koşullarda ise, minimum akışkanlaşma hızının çok üstündeki hızlarda dahi yatağın bağladığı gözlenmiştir.

Akışkan yataklarda aglomerasyon konusu, içlerinde Gluckman v.ç.a [56], Tardos v.ç.a [62,63] ve Siegel'in [57] de bulunduğu bir çok araştırmacı tarafından geniş bir şekilde değerlendirilmiştir. Goldberg [64], içinde kül biriken akışkan yataklarda aglomerasyon sıcaklıklarını belirlemiştir. Bu araştırmaya göre, kullanılan malzemenin özelliklerinin yanı sıra, taneciklerin yüzey alanı ve sıcaklıkları da, aglomerasyonun ortaya çıkış gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Saxena ve Rahmet [55], Siegel [57, 65], Langston ve Stephenfs [66] gibi bir grup bilim adamı ise, yüksek sıcaklıklarda mineral maddelerin ergiyerek yüzeye ulaşması sonucu, yapışkan bir özellik kazanan taneciklerin aglomerasyona neden olduklarını ileri sürmüştür. Salvador v.ç.a [67] ise, düşük sıcaklıklarda bile oluşabilen ötektik noktalar vasıtasıyla, yarıkok ve kül taneciklerinin birbirlerine yapışmalarını ve yakılan kömürlerde yüksek oranlarda Na ve K tuzlarının bulunmasını diğer bir neden olarak görmektedir. İngiltere'de kömür araştırma kurumu (CRE)

laboratuvarlarında yürütülen akışkan yatakta kömür yakma çalışmaları sırasında, uzun çalışma süreleri boyunca, yatakta Na_2O oranının artması sonucu, yatağın aglomerasyona daha yatkın bir ortama dönüştüğü gözlenmiştir. Texas ve Dakota linyitleri üzerinde yapılan çalışmalar ise, Na_2O 'in aglomerasyonu hızlandırdığı saptanmıştır [68, 69]. Anorganik yapıları açısından önemli ölçüde farklılıklar gösteren Çan linyit numunelerinin akışkan yatakta yakılması sırasında, bu linyitlerin aglomerasyona uğrama eğilimleri ile anorganik yapıları arasında yakın bir ilişkinin olduğu görülmüştür [8]. En düşük sıcaklıkta aglomerasyona uğrayan Çan-3 linyit numunesi, Çan-1 linyitinden 2 kat, Çan-2 linyitinden ise 2.9 kat daha fazla Na_2O içermektedir. Linyit numunelerinin arasında da bir paralellik olduğu gözlenmiştir [8].

Atakül'ün [8] Çan linyitleri ile yaptığı akışkan yatakta yanma deneylerinin sonuçları aşağıdaki şekilde derlenebilir. Aglomerasyon olayı, yatak içi sıcaklık dağılımı ile sistemin hidrodinamik özellikleri tarafından etkilenmektedir. Ayrıca, linyit ve yatak malzemesinin türü ile tane büyüklüğü, dinamik ve statik yatak yüksekliği ve hava hızı gibi etkenler aglomerasyon olayının ortaya çıkmasında ve gelişmesinde rol oynamaktadır. Hava hızının yüksek tutulması ve dinamik ve statik yatak yüksekliklerinin, belirli sınırlar içinde kalmak koşulu ile, büyük olması, aglomerasyonun oluşmasını engellemede olumlu birer etken olmaktadır. Statik yatak yüksekliğinin etkisi olumlu olmakla beraber, sınırlı kalmaktadır. Dolomit ve kireçtaşı birer yatak malzemesi olarak, yatak içi sıcaklık dağılımında olumlu rol oynadıklarından, aglomerasyon açısından da kuartz kumuna göre daha güvenilir bir ortam oluşturmaktadırlar. Çan-1, Çan-2 ve Çan-3 numuneleri arasında, kül deformasyon, yumuşama ve ergime sıcaklıkları açısından önemli farklar olmasına karşın, bu durum aglomerasyon olayını açıklamada yeterli olmamıştır.

Kullanılan linyitin tane büyüklüğü arttıkça, linyitin cinsi ve çalışma koşullarına bağlı olarak, aglomerasyon sıcaklığı sınırlı bir oranda artmaktadır. Gerek normal yanma süresince ve gerekse aglomerasyonun gelişmesi sırasında yatak yüzeyine yakın bölgeler çok yoğun gelişmelere sahne olmaktadır. Bunun dışında, belirtileri ortaya çıktıktan sonra, aglomerasyonu önlemek üzere, hava hızının arttırılması ve yatak malzemesinin ilave edilmesi gerekmektedir.

2.5. Akışkan Yataklı Sistemlerde Aglomerasyonun Modellenmesi

Akışkan yatakların, gazlaştırma ve yakma sistemi olarak kullanıldığı ve her iki süreçte de aglomerasyon olayı ile sıkça karşılaşıldığı literatürde belirtilmektedir [70, 71], ancak bu çalışmalar aglomerasyon olayını tam olarak açıklayacak teorik derinlikten yoksun kalmıştır. Rumpf [72, 73], Rumpf v.ç.a [74] ve Schubert [75], aglomerasyon olayını açıklamak için, tanecikler arası ilişkilere dayanan teorik modeller önermişlerdir. Ancak önerilen bu modeller sistemin kararlılığını tanımlamaktan uzak kalmıştır. Bunu gibi, Ormos ve Pataki [76], Dencs ve Ormos [77], Robinson ve Waldie [78] ve Smith ve Nienow [79] tarafından geliştirilen teorik modellerden elde edilen matematiksel sonuçlar da yetersiz kalmıştır. Gluckman v.ç.a [56] ve Siegel [57, 65] laboratuvar ölçüsünde yaptıkları ayrıntılı deneylerle oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda sinterleşme yolu ile aglomere olan taneciklerin operasyon sınırlarını araştırmışlardır. Bu araştırmacıların uyguladıkları yöntem, belirli bir hız ve sıcaklıkta akışkanlaştırılan yatağın sıcaklığını, akışkanlaşma duruncaya kadar sürekli olarak artırmaya dayanmaktadır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, bazı koşullarda belirli boyutlardaki tanecikler için belirli gaz sıcaklığında minimum akışkanlaşma hızı ile akışkanlaşmanın sürdürülebileceğini ortaya koymuştur. Minimum sinterleşme sıcaklığı (T_s) olarak isimlendirilen bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda, yatağın kararlı bir şekilde akışkanlaştırılması için daha yüksek akışkanlaşma hızlarına gerek duyulmuştur. Araştırmacılar, T_s 'nin üstündeki sıcaklıklarda yatağın akışkanlığını kaybetmesinin, basınç düşüşünden yararlanılarak gözlenebileceğini belirtmektedirler. Basınç düşüşündeki değişme, çöken yatak içerisinde gelişi güzel açılan deliklerden, yukarıya çıkan gazın daha düşük bir basınç düşüşü vermesi ilkesine dayanmaktadır.

T_s sıcaklığının belirleyici bir özellik olduğunu savunan Gluckman v.ç.a [56] ve Siegel [57], bu sıcaklığı ölçmek için dilatometrik yöntemi önermiştir. Yöntem, daha sonra Tardos v.ç.a [63], Basu [58] ve Basu ve Sarkai [59] tarafından geliştirilmiştir. Bunların dışında, Shervin v.ç.a [80], Hulburt ve Katz [81], ve Levenspiel v.ç.a [82] tarafından nüfus denge tekniklerine dayanan bazı modeller de önerilmiştir. Baker ve Bergougnou [83], Horada [84], Pulvermacher ve Ruckenstein [85] ve Kapur [86] ise

tanecik yığılmasını temel alan modeller geliştirmişlerdir. Bu modeller, boyut dağılımı ile tanecik büyümesini yönlendiren etkin mekanizmalar saptandıktan ve bunların hız sabitleri ölçüldükten sonra, besleme ve üretim hızlarının bulunması açısından yararlı sonuçlar vermektedir. Ancak modellerden hiç birisi akışkanlaşmayı sınırlandırmadan, süreci kararlı kılmayı ve geri akışkanlaşma olaylarını belirlemeyi sağlayacak düzeye varamamıştır. Tardos v.ç.a [62,63], yaptıkları modelleme çalışmasında, yatakta oluşacak en büyük aglomeratı kıracak ve yapışma özelliğine sahip tanecikleri sürekli olarak akışkanlaştıracak hızı (V_s) ve sıcaklığı belirlemeye çalışmıştır. Kararlılığı sağlayan V_s hızı ve sıcaklık değerleri, minimum akışkanlaşma hızı ve sinterleşme sıcaklığı değerlerinden daha yüksektir. Model uygulanabilirlik açısından, küçük yataklar için görece iyi sonuçlar vermektedir. Bu araştırmacıların geliştirdikleri söz konusu model, akışkan yatakta, aglomeratların üzerine etkiyen kuvvetler olarak gözönüne alınan ve gaz akışından kaynaklanan hidrodinamik kuvvetler ile habbe hareketi dolayısıyla oluşan kayma kuvvetlerinin, aglomeratların dirençleri ile kıyaslanmasına dayanmaktadır.

Aglomerasyon konusunda, literatürde bulunan temel araştırma verileri çok kısıtlı olduğu için, geliştirilen modellerin uygulanabilirliği ve geçerliliği çok dar sınırlar içinde kalmaktadır.

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, Göynük ve Çan linyitlerinin yanma ve aglomerasyon özelliklerinin 0.11 ve 0.20 m çapındaki yataklar, geliştirilen yakma sistemi, gaz analizleri için kullanılan gaz analiz cihazı, kullanılan linyit numuneleri ve yapılan analizlerde uygulanan yöntemler hakkında bilgi verilmiştir.

3.1. Kullanılan Numuneler ve Yatak Malzemelerinin Tanıtılması

Deneylerde kullanılan Göynük linyiti, Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Genel Müdürlüğü, Orta Anadolu Linyit (OAL) Müessesesi Göynük İşletmelerinden usulüne uygun bir şekilde alınmıştır. 1-2 mm, 2-2.8 mm, 2.8-4 mm ve 4-5 mm aralıklarındaki tanecik boyutlarına kırılıp elenen kömür fraksiyonları polietilen plastik torbalar içinde, hava ile ilişkisi kesilerek, saklanmıştır. Kullanılan Çan bölgesi linyit numuneleri, Çan-1 ve Çan-3, daha önceki bir çalışmada hazırlandığı şekliyle kullanılmıştır [8]. Yatak malzemesi olarak, Şile kumu, kuartz kumu, kireç taşı ve dolomit kullanılmıştır. Şile kumu, Türk Demir Döküm Fabrikaları, Silahtarağa Döküm tesislerinden, kuartz kumu piyasadan, kireç taşı Zeytinburnu Çimento Fabrikasından, dolomit ise Topkapı Şişe ve Cam Fabrikaları T.A.Ş.'den sağlanmıştır.

3.2. Numunelere Uygulanan Analizler

Kullanılan numuneler ve yatak malzemelerinin özelliklerini belirlemek amacıyla, linyit, kül ve yatak malzemelerinde aşağıdaki belirtilen analizler yapılmıştır. Uygulanan analizlerde, varsa TS normları, bulunmadığı durumlarda ise ASTM ve DIN normlarına başvurulmuştur.

3.2.1. Kömürde Uygulanan Analizler

3.2.1.1. Kısa ve Elementel Analizlerle Isıl Değer Tayinleri

Linyit numunelerinde, toplam nem TS 690, kül TS 330, uçucu madde TS 771'e göre hesaplanmıştır, aradaki farktan sabit karbon miktarı bulunmuştur. Isıl değerler DIN 1900'e göre izotermal kalorimetre bombası kullanılarak ölçülmüştür.

Karbon, hidrojen ve azot tayinleri, numunelerin bir elementel analiz cihazı kullanılarak 900°C de oksijenle yakılıp, karbonun, karbondioksit, hidrojenin suya ve azotun azot oksitlere dönüştürülmesi ve bir termal iletkenlik dedektörü yardımı ile söz konusu yanma ürünleri miktarlarının hesaplanması esasına göre yapılmıştır. Kükürt analizleri, LECO-SC-32 model tayin cihazından yararlanılarak, numunelerin 1370°C fırın sıcaklığı ve oksijen atmosferinde yakılması ile gerçekleştirilmiştir. Oksijen miktarı aradaki farktan hesaplanmıştır.

3.2.1.2. Tane Boyutu ve Yığın Yoğunluğu Tayinleri

Linyit numuneleri bir çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra, sürekli çalışan pilot ölçekteki SWECO marka bir elek sisteminden geçirilerek ön elemeye tabi tutulmuştur. Bunu izleyen aşamada, 1-5 mm arasında kalan bölümü 1.0, 2.0, 2.8, 4.0 ve 5 mm'lik elekleri içeren DIN/RIO elek dizisi kullanılarak 1-2, 2-2.8, 2.8-4 ve 4-5 mm'lik fraksiyonlara ayrılmış ve kullanılmaya hazır hale getirilmiştir. Yapılan ön denemelerde 15 dakikalık eleme süresinin yeterli olduğu anlaşılmış ve elemelerde bu süre esas alınmıştır.

Elde edilen numune aralıklarının ortalama tane boyutu, tanelerin küresel olduğu varsayımıyla kaynak [15]'de verilen yöntemle hesaplanmıştır.

Yığın yoğunluğu ölçümü, düşme yüksekliği 30 cm olan, 300 cm³ hacmindeki prototip bir bunker kullanılarak sağlanmıştır.

3.2.2. Külde Yapılan Analizler

3.2.2.1. Külde Yapılan Kimyasal Analizler

Külde yapılan analizler, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O ve Na₂O'nun analizini kapsamakta olup, ASTM D2795-69'a göre gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.2. Özgül Kül Sıcaklıklarının Tayini

Kül deformasyon, yumuşama, yarı küreselleşme ve akma (ergime) sıcaklıkları, LECO-AE-500 tayin cihazı kullanılarak, ASTM D 1857-68'e göre, hazırlanan kül konilerinin oksitleyici atmosferde 1600°C fırın sıcaklığına kadar ısıtılması ile bulunmuştur.

3.2.3. Yatak Malzemesinde Uygulanan Analizler

Yatak malzemesi tane boyutu ve yığın ağırlığı tayinleri, Bölüm 3.2.1.2'de anlatılan yöntemlerle yapılmıştır. Malzemeler 0.1, 0.4, 0.71 ve 1.0 mm'lik elekleri içeren elek takımı kullanılarak istenen aralıklara ayrılmıştır.

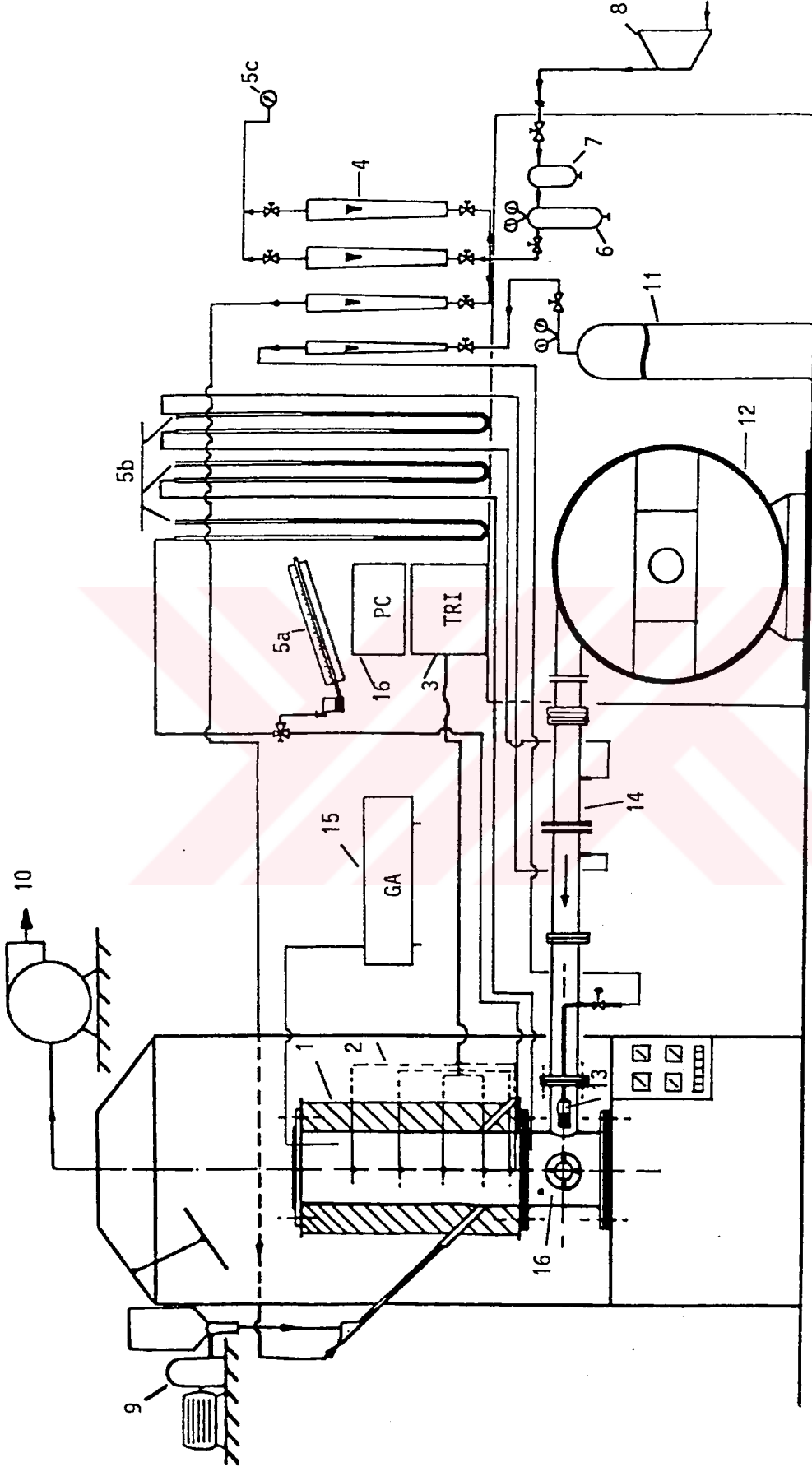
Linyit numunelerinin kısa ve elementel analiz sonuçları, (orijinal bazda % olarak) ile üst ısıl değerleri, linyit küllerinin kimyasal analiz sonuçları ve özgül sıcaklık değerleri, linyit numuneleri ve yatak malzemeleri yığın yoğunlukları Tablo 3-1 de verilmiştir.

Tablo 3-1. Linyit, linyit külü ve yatak malzemelerinin özellikleri

Kısa analiz	Göynük	Çan 3	Dolamit
Nem (%)	30.9	13.0	-
Kül (%)	19.8	17.7	-
Uçucu madde (%)	25.2	25.2	-
Sabit Karbon(%)	24.1	37.0	-
Üst ısı değer (kcal/kg)	3630	4430	-
Kül ve yatak malzemesi			
(%)			
SiO ₂	35.70	44.56	0.79
Al ₂ O ₃	17.70	3.20	0.21
Fe ₂ O ₃	6.23	17.30	0.09
CaO	11.52	4.30	32.20
MgO	5.10	1.29	19.37
K ₂ O	0.94	0.18	-
Na ₂ O	7.20	0.90	-
Diğerleri	15.61	28.27	-
Isıl kayıp			46.84
Kül özgül sıcaklık değerleri		(°C)	
Başlangıç deformasyon sıcaklığı		1227	
Yumuşama sıcaklığı		1260	
Yarı küreselleşme sıcaklığı		1285	
Kül düşme sıcaklığı		1312	

3.3. Deney Düzeneği

Deneylerde kullanılan 0.11 m çapındaki akışkan yatak, daha önce yapılan bir çalışma için geliştirilmiştir. Bu deney düzeneği ile ilgili ayrıntılar [8] ve [87] nolu kaynaklarda verilmiştir. Bu çalışma için geliştirilen 0.20 m çapındaki akışkan yatak, temel olarak üç kısımdan oluşmuştur. Bunlar, rüzgar odacığı, dağıtıcı elek ve aktif yatak ile serbest bölgenin yer aldığı üst kısımdır. Tüm sistem, kapalı bir odacığa yerleştirilmiş ve çıkan yanma gazları bacanın doğal çekişi ile sistemden dışarı atılmıştır. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 3-1'de görülmektedir.



Şekil 3-1 Deney Düzeninin Şematik Şekli.

1.Akışkan Yatak, 2.Isılçiftler, 3.Sıcaklık Kaydediciler, 4.Akışmetreler, 5.a,b,c.Manometreler, 6.Su Filtresi, 7.Yağ Filtresi, 8.Hava Kompresörü, 9.Vidalı besleyici, 10.Çekiş Fanı, 11.LPG Tüpü, 12.Hava Besleme Fanı, 13.Ön Isıtıcı Sistemi, 14.Orifizmetre, 15.Gaz Analizörü, 16.Rüzgar Odacığı.

3.3.1. Rüzgar Odacığı

Rüzgar odacığı, 0.20 m çapında ve 0.20 m yüksekliğindeki silindirik bir yapıdan oluşmaktadır. Bu hacım, n ısıtma için kullanılan LPG-hava karışımının yakıldığı bir alev odası olarak değerlendirilmiş ve oluşan sıcak gazlar yatağı ısıtmak için kullanılmıştır. Rüzgar odacığında, LPG-hava karışımının yanması sırasında oluşan alevin boyu 0.20 m'i bulmuştur. Bu boydaki alevin duvarı aşırı ısıtması önemli problemlere yol açmıştır. Bundan dolayı alev, hava ve alev yolu borusu içine çekilmiş ve oda 0.05 m kalınlığındaki refrakter bir malzeme ile yalıtılmıştır. Yakma sürecinin ikinci aşamasında, rüzgar odacığında yanmaya son verilmiş ve burası LPG-hava karışımının gerekleştirildiğı bölge olarak kullanılmıştır. Hava hızının, bu bölgede alev geri tepmesine ve patlamalara neden olabilecek düzeye ulaşmasına izin verilmemiştir. Rüzgar odacığı LPG brülörü, pilot ateşleyici ve otomatik ultraviyole gözleme sistemi ile donatılmıştır.

3.3.2. Dağıtıcı Elek

0.20 m çapındaki yatak için, 3 mm kalınlıktaki, normal elik saçtan yapılmış olan dağıtıcı elek, delikli düz bir plaka şeklindeyir. Delikler, 1 mm çapında olup, eşkenar drtkenin köşelerine gelecek şekilde delinmiştir. Delikler arası uzaklık, merkezden merkeze 10 mm dir. Deliklerin oluşturduğı açık alan oranı %3 civarındadır. Genleşme, ekilme ve bzlmeye karşı önlem olmak üzere, dağıtıcı eleği rüzgar odacığına ve ana gövdeye bağlayan flanş delikleri oval, ve alt ve st deliklerinden daha geniş olacak şekilde açılmıştır. Bütün bunlara rağmen, dağıtıcı eleğin zamanla aşağıya doğru bombe yaptığı grlmştir.

3.3.3. Aktif Yatak ve Serbest Bölge

Dağıtıcı elek üzerine yerleştirilen ve sistemin en üst kısmı, 0.20 m çapında ve 0.6 m yüksekliğinde olmak üzere özel kazan alev borusu malzemesinden imal edilmiştir. İçinde yanmanın gerçekleştiği aktif yatağın yüksekliğini ayarlamak amacıyla, dağıtıcı elekten itibaren 0.10, 0.15 m ve 0.20 m yüksekliklere taşma boruları yerleştirilmiştir. Buna göre sistemde, sırası ile 0.40 m, 0.45 m ve 0.50 m'lik serbest bölge yükseklikleri kalmaktadır. Kömür yatağa, sonsuz vidalı bir besleyici kullanılarak 0.10 m, 0.15 m ve 0.20 m yüksekliklerden hava ile sürüklenerek beslenmiştir. Kömürü sürüklemek için kullanılan havanın debisi, (Gaz debileri, metinlerde aksi belirtilmedikçe, 278 K sıcaklıkta ve 1 atm. koşulları verilmektedir.) deneyler boyunca, 0.0367 m³/s debide sabit tutulmuştur. Yine dağıtıcı elekten itibaren 0.01 m, 0.03 m, 0.05 m, 0.20, 0.30 ve 0.55 m yükseklikte yatağın içine ısı çiftleri yerleştirilmiştir. Akışkan yataklarda, hidrodinamik özelliklerden dolayı katı taneciklerinin daha çok cidara yakın bölgelerde aşağıya doğru aktıkları göz önüne alınarak, ısı çiftleri duvardan itibaren yalnız 0.05 m'ye kadar uzatılmıştır.

Isıl çift girişlerinin tam karşısına ve aynı yüksekliklere gaz numunesini çekme delikleri bulunmaktadır. Gerektiğinde kullanılmak üzere, yatağın içerisine ayrıca ek gezici bir ısı çifti yerleştirilmiştir. Isıl çiftlerin ilintili olduğu, dijital okuyucular ve bir adet 6 nokta okuyucu ve kaydedici vasıtası ile, sıcaklıklar deney süresince sürekli olarak okunmuş ve kaydedilmiştir.

Yanma verimini kontrol etmek amacıyla (Bestobell Mobrey) MCA 2 marka taşınabilir bir CO₂, CO ve O₂ analiz cihazı kullanılmıştır. Söz konusu cihazla ölçüm yapabilmek için sıcaklığın 873 K'i aşmaması gerektiğinden gaz ölçümleri 0.30 m ve 0.55 m yüksekliklerden alınan numuneler ile gerçekleştirilmiştir.

Tüm akışkan yatak 0.06 m kalınlığında yalıtım malzemesi ile dıştan yalıtılmıştır.

Yatak içinde ve dağıtıcı elekten meydana gelen basınç düşüşleri su manometreleri aracılığı ile sürekli olarak ölçülmüştür.

Akışkanlaştırma için gerekli hava 0.1 m³/s'lik kapasiteye sahip ve 750 mm su sütunu (mmSS) basınç farkı yaratabilen körüklü bir fandan sağlanmıştır. Sisteme verilen hava, fan ile yatak arasına yerleştirilen ve sıcak tel anemometresi (hotwire anemometre) ile kalibre edilen orifizmetre aracılığı ile ölçülmüştür.

3.3.4. Isıtma Sistemi

Küçük sistemlerde ısıtma, genellikle, kullanılan LPG-hava karışımının doğrudan yatak içinde yakılması yolu ile gerçekleştirilmektedir. Ancak, bu şekilde yapılan ön ısıtmalarda yanma verimi, yatak sıcaklığının 400°C altında kararsız olması ve LPG-hava karışımlarının patlamalı olması nedeni ile düşük olmaktadır. Büyük sistemlerde, bu patlamaların ve kararsızlığın daha da artacağı göz önüne alınarak, deneysel çalışmalarda daha etkin bir sistem kullanılmıştır.

Bu çalışmada, ileride devreye alınması düşünülen pilot ölçekli bir düzenek için de hazırlık olmak üzere, bir ön ısıtma düzeneği tasarlanmış ve imal ettirilmiştir. Düzenek, kendi içerisinde, patlamaları kontrol etme özelliğine ve otomatik ateşleme ve kapama devrelerine sahiptir. Sanayii tipi bir LPG tüpünden gelen gaz, bir basınç valfi ve bir selonoid valften geçtikten sonra 0.008 m çapındaki pirinç bir boru vasıtası ile LPG brülöre verilmiştir. Burada hava ile karışan gaz, yanma karışımını oluşturmaktadır. Selonoid valfin açılması ile birlikte, 10000 volt gerilimle oluşturulan kıvılcım çakmaya başlamaktadır. Kıvılcım çakma olayı, selonoid valfin açılmasından sonra 3 saniye süre ile 5 kez tekrarlanmaktadır. Bu süre içinde yanma başlamazsa, bu durum, mavi alev duyarlı ultraviyole (UV) bir alev gözleyicisi tarafından tespit edilmektedir. Kontrol kutusuna iletilen bir kumanda vasıtasıyla selonoid valf kapanmakta, kıvılcım çakma işlemi otomatik olarak durmakta ve sistem alarma geçmektedir. Normal koşullarda, bu süre içerisinde yanma odasında LPG yanması başlamaktadır. Elde edilen sıcak gazlarla, yatak malzemesi 400°C civarına kadar ısıtılmaktadır. Aktif yatak bölgesinden alınan sıcaklık ölçümleri, Elimko-6000 serisi bir sıcaklık kontrol cihazına gitmekte ve 400°C'lik referans sıcaklık değeri ile kıyaslandıktan sonra, bu cihaz tarafından kontrol kutusuna sinyal gönderilmektedir. Yatak içi

sıcaklık, 400°C'e ulaştığı zaman birinci selonoid valf devreden çıkmakta ve böylece alev odasında yanma durmaktadır. Bundan 15 saniye sonra devreye giren ikinci kontrol kutusu, ikinci selonoid valfi açarak LPG'yi brülöre beslemektedir. İkinci selonoid valf açıldıktan sonra, otomatik olarak oluşan kıvılcım, 3 saniye süre ile beş defa ateşlemekte ve yanmayı tekrar başlatmaktadır. Eğer, aleve duyarlı alev gözleyiciler, 3 saniye içerisinde, alevi tespit etmezlerse, ikinci kontrol kutusu, ikinci selonoid valfi devreden çıkarmaktadır. Geliştirilen bu sistem ile akışkan yatak güvenli ve kararlı bir şekilde devreye alınabilmektedir.



BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

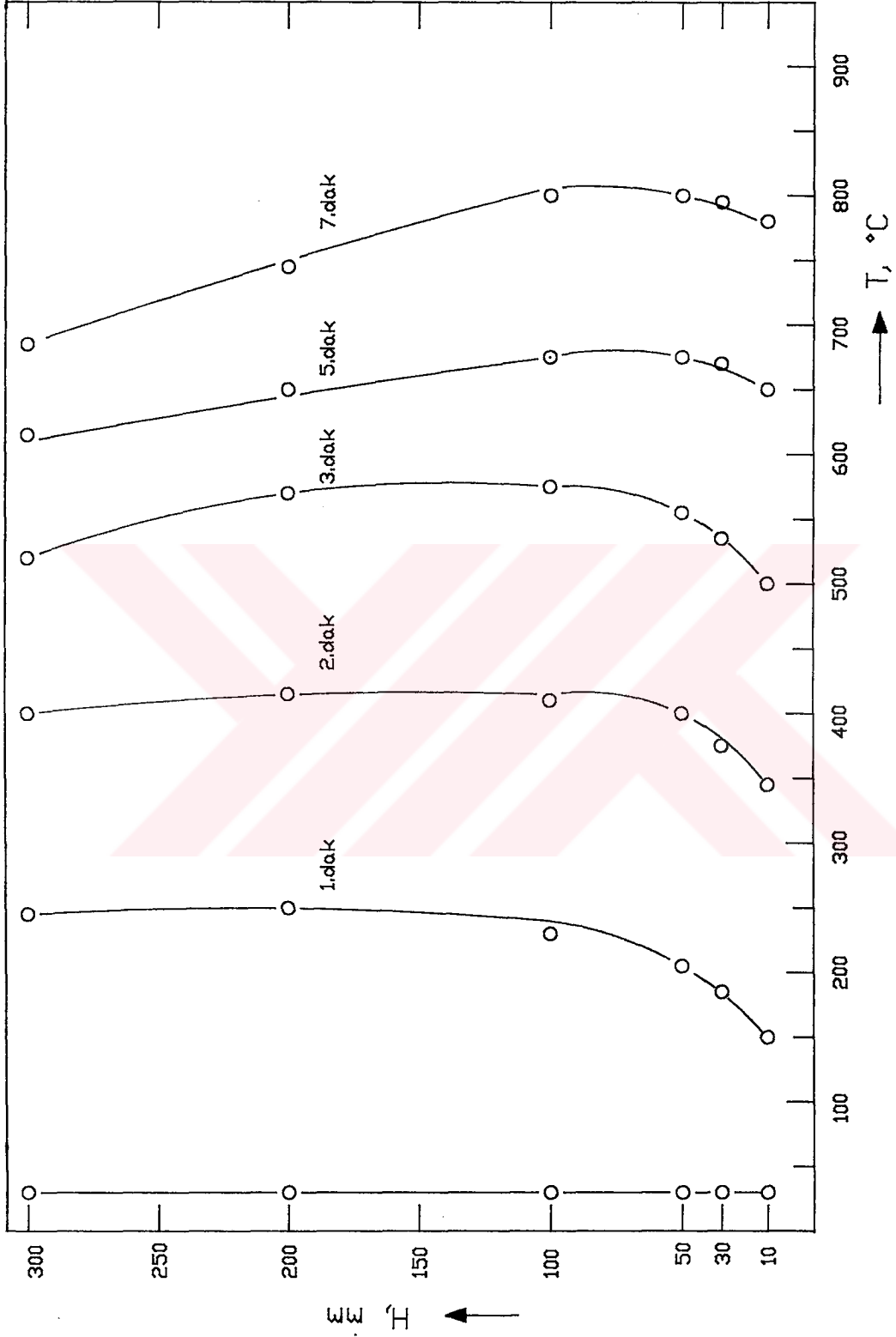
4.1. Akışkan Yatakların Isıtma Sistemleri

4.1.1. Tek Aşamalı Isıtma Sistemi

LPG yakılarak, 0.11 m çapındaki yatağın üstten ısıtılması ile yürütülen deneylerin sonuçları Şekil 4-1'de gösterilmiştir. 0.4-0.7 mm boyut aralığındaki Şile kumu ile yapılan deneylerde, yatak tepeden tutuşturulduktan sonra, iki dakika içerisinde yatak içi ve serbest bölge sıcaklıklarının tümü 400°C civarına ulaşmıştır. Bundan sonra yatak içi ve 0.20 m düzeyindeki serbest bölge sıcaklıkları çok hızlı bir şekilde yükselirken, 0.3 m düzeyindeki sıcaklık daha yavaş bir yükselme göstermiştir. Bu süre içerisinde, en yüksek sıcaklık 0.10 m düzeyinde ölçülmüştür. 5. dakikada 0.20 m düzeyindeki sıcaklık diğerlerine oranla, daha düşük kalırken, 7. dakika sonunda 0.10 m düzeyinde en yüksek değere ulaşmış ve bunu sırasıyla 0.30, 0.05, 0.10, 0.20 ve 0.30 m düzeyindeki sıcaklıklar izlemiştir. Sıcaklık dağılımlarından anlaşılacağı gibi yatak soğuk iken, yanma yatağın en üst kısımları ve serbest bölgede yoğunlaşmış ve patlamalı bir şekilde gelişmiştir. Belirli bir süre sonra, dağıtıcı elek civarındaki bölge daha etkin bir hale gelirken, serbest bölgede sıcaklık biraz düşmüştür.

4.1.2. İki Aşamalı Isıtma Sistemi

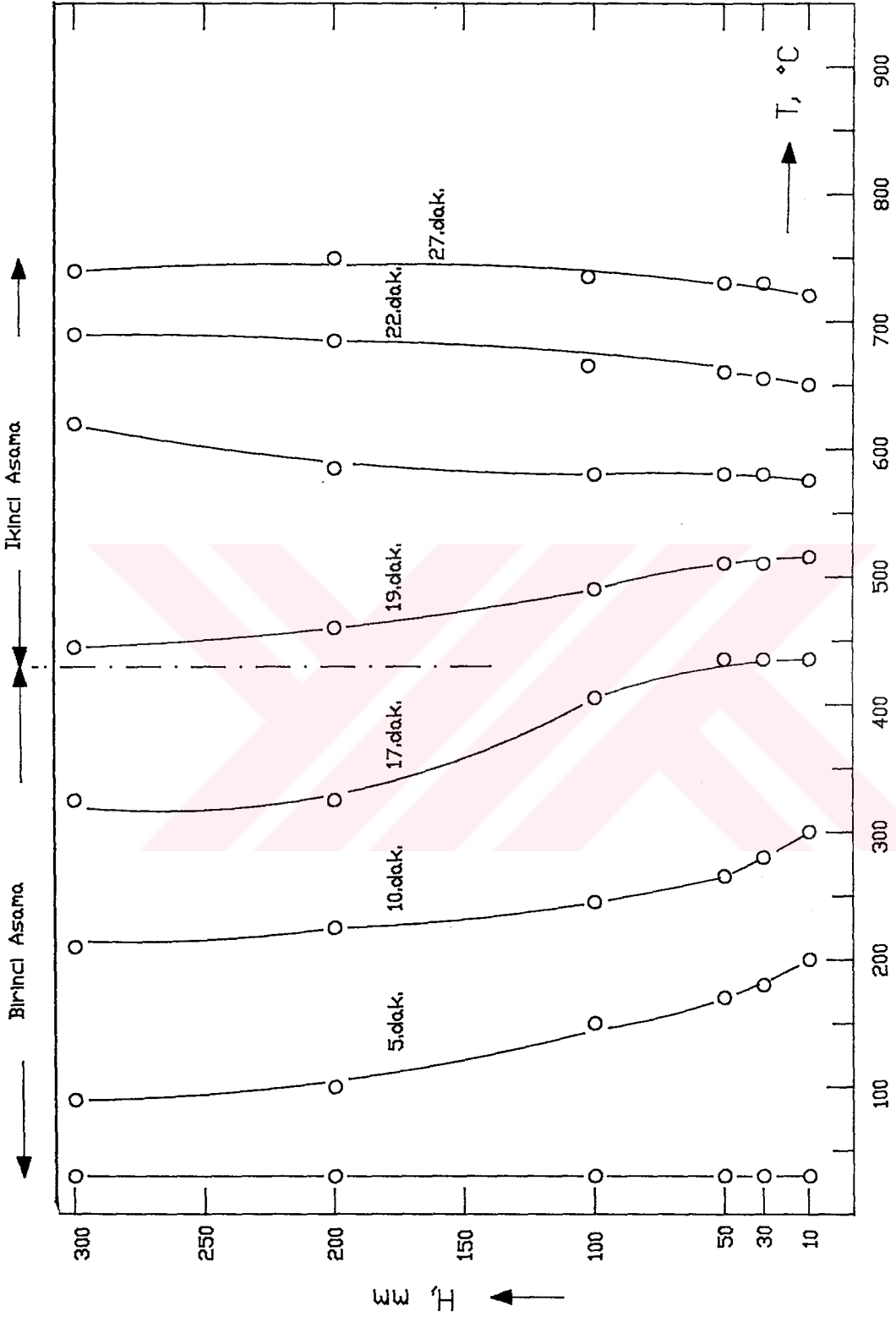
LPG-hava karışımı kullanılarak tek aşamalı yanma sistemi ile ısıtılan 0.11 m çapındaki akışkan yatakta yapılan deneyler sırasında yanma, sıcaklık 400°C civarına yükselinceye kadar; çok habbeli ve patlamalı bir şekilde sürmüştür.



Şekil 4-1 0.4-0.7 mm Şile Kumu İçeren 0.11 m Çapındaki Akışkan Yatağın Tek Aşamalı Isıtma Sistemi ile LPG Kullanılarak Isıtılması Sırasında Oluşan Sıcaklık Dağılımları.

Aynı ısıtma sisteminin 0.20 m çapındaki yatağa uygulanması ile gaz patlamaları ve risk faktörü arttığı gibi, ısıtma için de daha uzun bir süre gerekmiştir. Bu nedenle LPG karışımının doğrudan yatak içinde değilde, uygun rüzgar odacığında yakılarak elde edilen sıcak gazlar kullanılmasıyla yatak 400°C'e kadar ısıtılmıştır. Bunun için ayrı bir ısıtma sistemi kullanılmıştır. 0.20 m çapında ve 0.4-0.7 mm tanecik büyüklüğündeki Şile kumunu içeren yatağın devreye alınması sırasında iki aşamalı ısınmanın uygulanması ile elde edilen sıcaklık-zaman değişimi Şekil 4-2'de gösterilmiştir. Yatak başlangıçtan itibaren 17. dakikaya kadar, rüzgar odacığında, LPG'nin yanması sonucu elde edilen sıcak gazlar ile ısıtılmıştır. Bu aşamada, yatak içinde ölçülen en yüksek sıcaklığın, az farkla da olsa, dağıtıcı eleğe en yakın bölgedeki sıcaklık olduğu görülmüştür. 0.035 m ve 0.10 m düzeylerindeki sıcaklıklar dağıtıcı elek civarındaki sıcaklığa çok yakın olmasına karşın 0.20 m ve 0.30 m seviyelerindeki sıcaklıklar daha düşük değerlerde kalmıştır. 17. dakikadan sonra gerçekleştirilen ikinci yanma periyodunda gözlenen sıcaklık dağılımları, sistemin 2 dakika kadar süren bir geçiş süreci içinde olduğunu göstermektedir. 20. dakikadan sonra yatak kararlı bir davranım içine girmiştir. Bunun nedeni; yatak içerisindeki malzemenin tek türden ve dar bir tanecik boyutuna sahip olması ve dolayısıyla herhangi bir ayrışma eğilimi göstermemesidir. İki aşamalı sistem için grafiği verilen deneyde yatakta, 27. dakikadan itibaren linyit beslemenin koşulları oluşmaya başlamıştır. Gerçekte yatak çok daha kısa bir süre içinde linyitin tutuşma sıcaklığına kadar ısıtılabilir; ancak bu çalışma boyunca uygulanan ısıtma sürecinin ilk aşamasında, düşük karbonlu çelikten yapılmış olan dağıtıcı eleğin deformasyonunu önlemek için, sıcaklık düşük düzeylerde tutulmuştur. Bunun yanı sıra linyitin, tutuşma sıcaklığı 650-700°C dolayında olduğu için 790°C'e çıkılmasına da gerek duyulmamıştır. Gerçekte gerek yoktur.

Daha önce sözü edilen tek aşamalı ve el ile kumanda edilen sistem ile, iki aşamalı ve otomatik kontrollü sistem karşılaştırıldığında, otomatik kontrollü sistemle yürütülen ısıtma süreci ise ikinci aşamadaki ısınma süresince serbest bölgedeki yanmanın daha etkin olduğu görülür. Aynı gözlem aktif yatak için de geçerlidir.



Şekil 4-2 0.4-0.7 mm Şile Kumu İçeren 0.11 m Çapındaki Akışkan Yatağın Tek Aşamalı Isıtma Sistemi ile LPG Kullanılarak Isıtılması Sırasında Oluşan Sıcaklık Dağılımları.

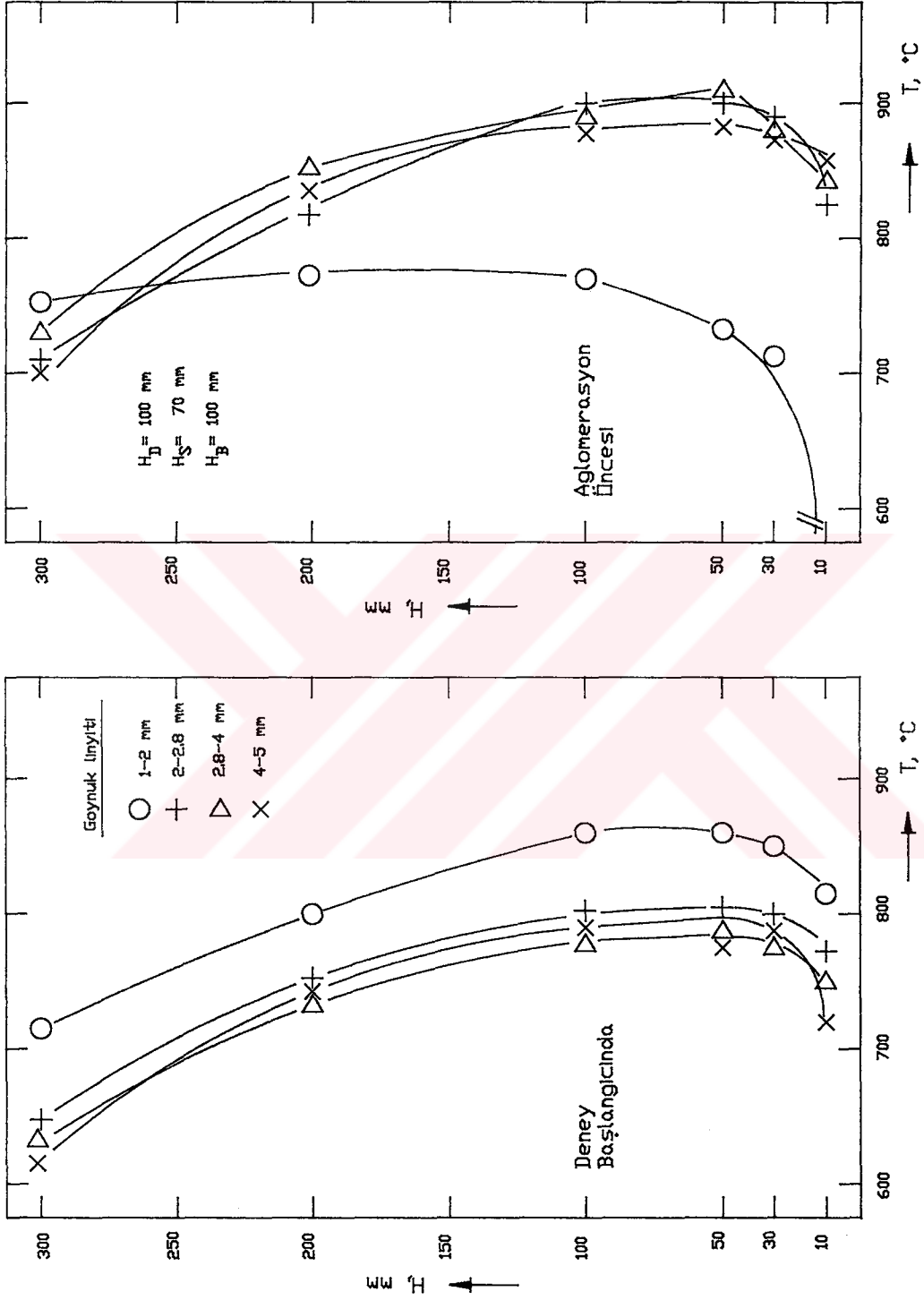
İki aşamada ısıtılan büyük yatakta, ön ısıtma süresince hava hızı 1.4 m/s olurken tek aşamada ısıtılan küçük yatakta bu değer 1 m/s civarında kalmıştır. Bu durumun, sıcaklık dağılımlarını etkilemesi mümkündür.

4.2. Göynük Linyitinin Ayrışma Eğiliminin Sıcaklık Dağılımı ile Belirlenmesi

Bu bölümde Göynük linyitinin yakıldığı akışkan yataklarda, aglomerasyon öncesinde gerçekleşen ayrışma rejimlerini ve bunların aglomerasyon anındaki etkilerini görebilmek amacı ile, dağıtıcı elekten itibaren değişik yüksekliklerde sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen sıcaklıklar ayrı ayrı ve diferansiyel olarak değerlendirilmiştir. Aglomerasyondan hemen önceki sıcaklık dağılımları ayrışma sürecini irdelemede esas alınmıştır.

4.2.1. Linyit Tanecik Boyutunun Akışkan Yatak Sıcaklık Dağılımına Etkisi

Göynük linyitinin 0.11 ve 0.20 m çaplarındaki akışkan yataklarda yakılması sırasında, linyit tanecik boyutunun yatak içi ve serbest bölge sıcaklık dağılımlarına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla her iki yatakta da 1-2, 2-2.8, 2.8-4, 4-5 mm tane boyutu aralığındaki Göynük linyit numuneleri yakılmıştır. 0.11 m çapındaki akışkan yatakta yakma ve akışkanlaştırma için hava debisi 2.78×10^{-3} m³/s olarak alınmıştır. Statik ve dinamik yatak yükseklikleri sırası ile 0.07 m ve 0.10 m olarak seçilmiş ve linyit beslemesi dağıtıcı elekten 0.10 m yukarıda ve yatak kenarında yapılmıştır. 0.40-0.70 mm'lik Şile kumunun kullanıldığı deneyler sırasında, linyit tanecik boyutu dışındaki tüm değişkenler sabit tutulmuştur. 0.11 m çapındaki akışkan yatakta yürütülen deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4-3'de gösterilmiştir. Söz konusu sonuçlar incelendiğinde, bütün linyit tanecik boyutları için dağıtıcı eleğin çok yakınlarında kalan bölgeler dışında tüm yatak içerisinde tekdüze bir

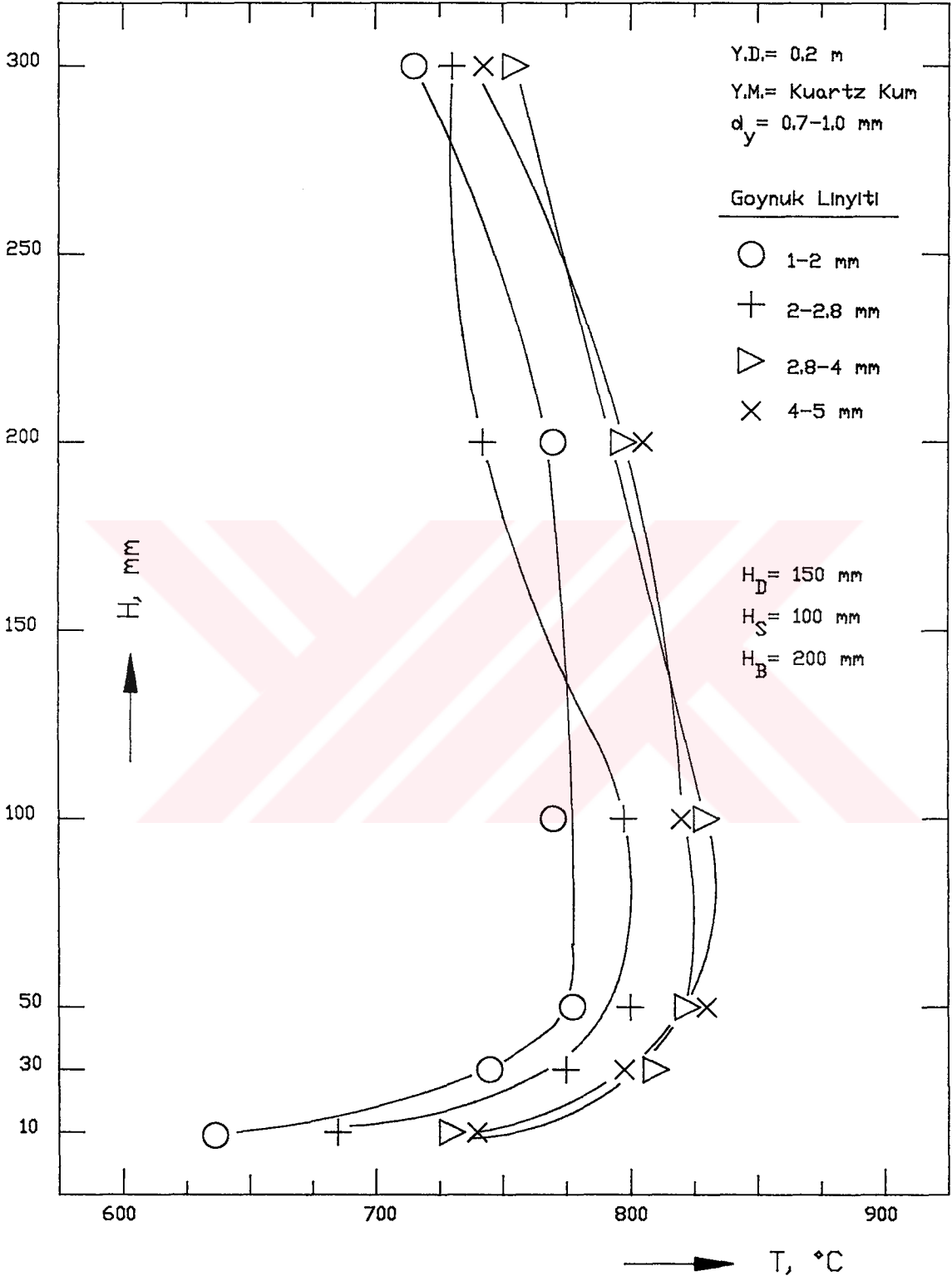


Şekil 4-3 0.4-0.7 mm Şile Kumu İçeren 0.11 m Çapındaki Akışkan Yataкта Göynük Linyiti Yakılması ile Elde Edilen Sıcaklık Dağılımları, $F_k=28\text{g/dak.}$, $F_H=10\text{m}^3/\text{h.}$

sıcaklık dağılımının gerçekleştiği gözlenmiştir. Özellikle yatak içi ve serbest bölge sıcaklıkları arasındaki farka bakıldığı zaman, genelde tanecik boyutu küçüldükçe bu farkın azaldığı görülmektedir. Grafikten her tanecik boyutu için, sıcaklık dağılımlarının deney süresince dinamik olarak değiştiğini görmek mümkündür. Bu durum Bölüm 4.2.6'da ayrıca değerlendirilecektir. Yatak içinde oluşan diferansiyel sıcaklık farkları $\Delta T_1(T_{100}-T_{10})$, $\Delta T_3(T_{100}-T_{30})$ ve $\Delta T_{30}(T_{100}-T_{300})$ ile tanımlanmıştır. Burada ΔT_1 , ΔT_3 ve ΔT_{30} sırasıyla, dağıtıcı elekten itibaren, 0.10 m ile 0.01 m, 0.10 m ile 0.03 m ve 0.10 ile 0.30 m yükseklikteki bölge sıcaklıkları arasında beliren farklardır. Kömürün yatağa beslendiği 0.10 m yükseklikteki sıcaklık (T_{100}), yatak sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. Yatak içi sıcaklık profillerinden, linyit tanecik boyutunun değiştirilmesi sonucu ΔT_1 , ΔT_3 , ΔT_{30} değerlerinin de sistematik bir şekilde değiştiği görülmektedir. Örneğin 4-5 mm'lik Göynük linyiti için, ayrışmanın ilerlediği anlarda, ΔT_1 değeri diğer tanecik boyutlarına kıyasla azalırken, ΔT_{30} değeri artmaktadır. Başka bir ifade ile, 2-2.8 mm ve daha büyük tanecik boyutlarında yanma gittikçe yatağın alt kısımlarına doğru yoğunlaşmaktadır. Bu davranış, linyit-kum karışımının linyit batışan zengin özelliği göstermesinin bir sonucudur. Nitekim bu deneylerde yüzüşen zengin sistemlerde görülenin tersine, saf batışan komponentten oluşan bir tabakaya özgü sıcaklık davranımı gözlenmemiştir.

Linyit tanecik boyutu düşürüldükçe, linyit-kum karışımının linyitin yüzüşen karaktere doğru değişmesi söz konusudur. Böylece 1-2 mm'lik linyit tanecik boyutu için ayrışmayı belirlemede etkin olan parametreler arasında oluşan denge, sistemi zayıf linyit yüzüşen ayrışma rejimine sokmuştur. Bu koşullarda yukarıda sözü edilenlerin aksine, ayrışma, sisteminin özelliklerinden dolayı, dağıtıcı elek yakınlarında oluşan saf bir batışan tabakası ve 0.01 m de kaydedilen hızlı bir sıcaklık düşüşü ile gözlenmektedir. Atakül [8], bu gelişmeyi geri akışkanlaşma (defluidization) olarak tanımlamıştır.

0.20 m'lik yatakta 0.7-1.0 mm'lik kuartz kumu kullanılarak, yakılan 1-2 mm, 2.8-4 mm tanecik boyutlarındaki Göynük linyiti için saptanan sıcaklık değerleri Şekil 4-4'de gösterilmiştir. Bu şekilden, tanecik çapı büyüdükçe ΔT_1 ve ΔT_3 değerlerinin küçüldüğü ve ΔT_{30} değerlerinin ise arttığı görülmektedir.



Şekil 4-4 0.7-1.0 mm Kuartz Kumu İçeren 0.2 m Çapındaki Akışkan Yatakta Göynük Linyiti Yakılması ile Elde Edilen Sıcaklık Dağılımları, $F_k = 110$ g/dak., $F_H = 45$ m³/h.

Linyit tanecik boyutu arttıkça, sistem linyit yüzüşen karakterden linyit-batışan karaktere geçmeye başladığı için yanma, yatağın derinliklerine doğru yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle, ΔT_1 ve ΔT_3 farklarının azalması yatak iç sıcaklıklarının yükselmesi ile eş anlamlıdır. Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı gibi, akışkan yataklarda, kullanılan yatak malzemesi tanecik boyutundaki değişim, sözkonusu malzemenin yoğunluğuna bağlı olarak, bir karışımda ayrışma şiddetini belirleyeceği gibi, ayrışma rejimini de değiştirebilecektir.

Literatürde yüksek uçucu madde içerikli kömür taneciklerinin uçucu madde yanma süresince yatağın üst kısımlarına yoğunlaşmaları ile ilgili olarak yapılan gözlemler [31, 33, 34, 35, 88] bu bölümde yapılan açıklamalar ışığında değerlendirilirse, bu çalışmaların gerçekleştirildiği sistemlerde, kül yüzüşen tipte bir ayrışma rejiminin koşulları söz konusudur. Bu nedenle uçucu madde yanması ve ayrışma yanmayı üst kısımlarına doğru çekmektedir.

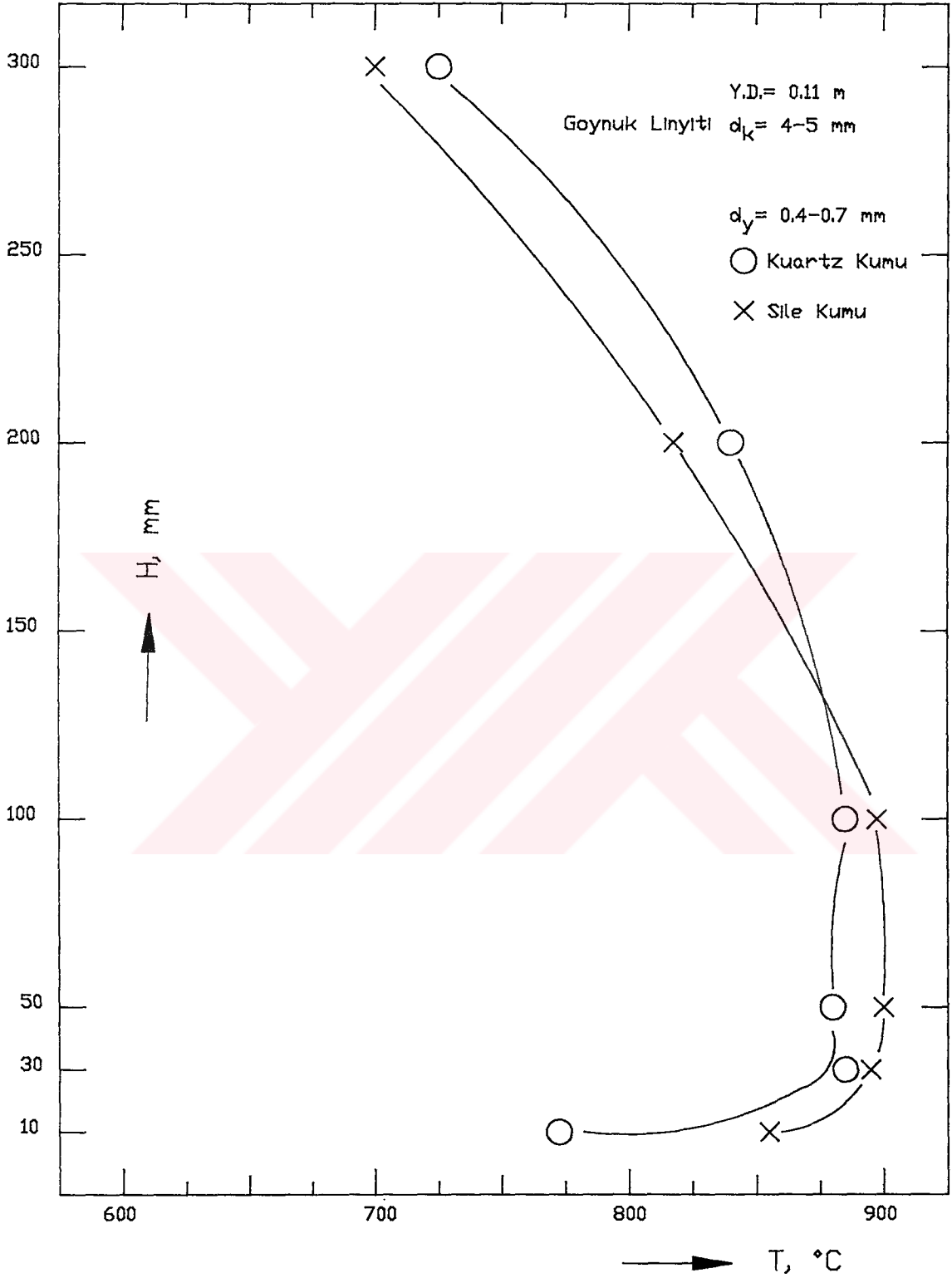
Kül yüzüşen zengin ve batışan zengin sistemlerin sıcaklık profilleri kıyaslandığı zaman, kül batışan ayrışma tipi için yatak içi sıcaklık dağılımlarının daha tekdüze olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni, bu tip ayrışma sistemlerinde, Bölüm 2'de de tartışıldığı üzere, saf bir malzemeye özgü herhangi bir ayrışmanın görülmemiş olmasıdır. Bu davranışta, külün yatağın alt bölgelerinde birikmesi ve daha fazla miktarlardaki yatak malzemesinin dinamik yatak yüksekliğini ayarlayan seviye borusundan taşmış olmasının da katkısı vardır. Nitekim uzun süreli deneylerden sonra aglomere olmuş yatak malzemesinin kül taneciklerinin incelenmesi amacıyla, yatak söküldüğünde, kül batışan sistemlerde yatak içerisinde kalan kum miktarının diğer ayrışma sistemlerine kıyasla daha az olduğu görülmüştür. 0.20 m ve 0.11 m çaplarındaki yataklarda yapılan deneyler sonucunda elde edilen diferansiyel sıcaklık değerlerinden, 0.20 m'lik yatak için ΔT_{30} değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Her iki yatakta da aynı kömür yakıldığı için, bu farkların uçucu madde yanmasından kaynaklanmış olması söz konusu değildir. 0.20 m'lik yatakta gerçekleştirilen deneylerin çoğunluğunda, linyit, linyit yüzüşen zengin tipi ayrışma rejimi koşullarında yandığı için yatağın üst kısımlarında, linyit konsantrasyonunun artması ve uçucu maddenin davranımı nedeni ile, daha yüksek sıcaklıklar elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, 0.11 m'lik

yatakta beslemenin dağıtıcı elekten 0.10 m yükseklikten, 0.20m'lik yatakta ise 0.20 m'den yapılmış olmasının uçucu madde yanması açısından kısmen etkili olabilir.

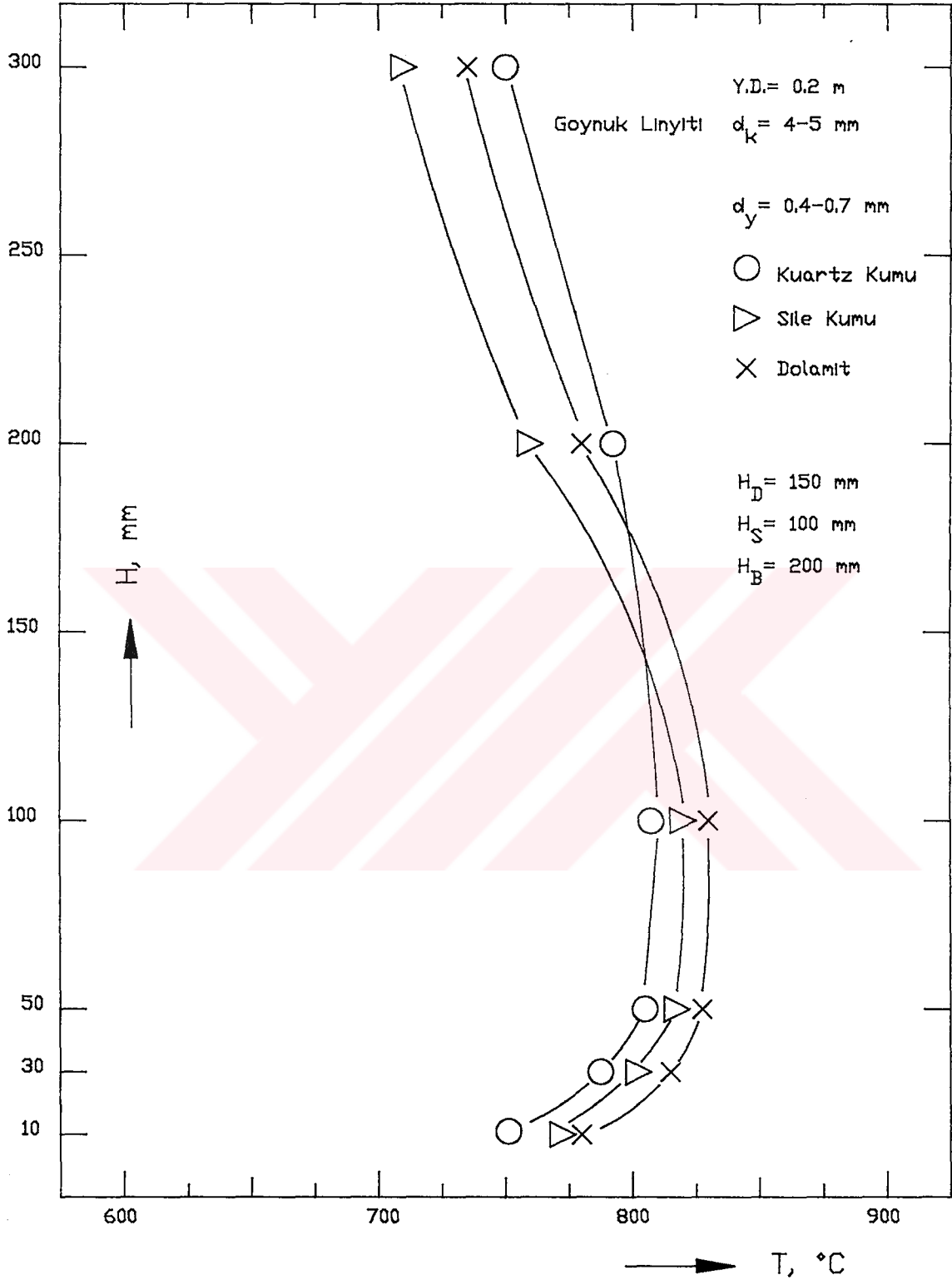
4.2.2. Yatak Malzemesi Türünün Sıcaklık Dağılımına Etkisi

0.4-0.7 mm tanecik boyutuna sahip kuartz kumu, Şile kumu ve dolomit içeren 0.20 m çapındaki yataklarda, 4-5 mm tanecik boyutları arasındaki Göynük linyiti ile yapılan deneylerde, genel olarak benzer sıcaklık dağılımları ile karşılaşılmıştır. 0.11 m çapındaki akışkan yatakta, 0.4-0.7 mm tanecik büyüklüğündeki Şile kumu, kuartz kumu ve 4-5 mm'lik Göynük linyiti ile gerçekleştirilen deneylerde, elde edilen sıcaklık profilleri Şekil 4-5'de verilmiştir. Görüldüğü gibi kuartz kumu içeren yatakta aktif yatak bölgesinde kaydedilen sıcaklıklar daha düşük olmuştur. Bunun yanı sıra, aynı bölgede kesitler arasında oluşan sıcaklık farklılıkları, Şile kumu ortamına oranla daha büyük olmuştur. Serbest bölge sıcaklıkları ise, görece, daha yüksek değerler almıştır. Tüm parametrelerin benzer olduğu koşullarda, gözlenen bu davranımın kuartz kumu/linyit karışımında, yoğunluk farkından dolayı, kuartzın batışan, külün ise yüzüşen karakterde olmalarından kaynaklanmaktadır. Kül yüzüşen zengin ortamlarda, ayrışmanın yanı sıra linyit taneciklerinin uçucu madde yanma sürecinde, yatağın üst kesitlerine lokalize olma eğilimi içinde olmaları da serbest bölge sıcaklıklarının daha yüksek değerlerde gerçekleşmesine neden olmaktadır. İki yatak malzemesi için sıcaklık profillerinde görülen fakat büyük olmayan farkın, kumların tanecik dağılımından kaynaklanması beklenir.

Şile kumu, kuartz kumu ve dolomit için 0.20 m çapındaki akışkan yatakta elde edilen sıcaklık dağılımları Şekil 4-6'da verilmiştir. Bunun sonuçları 0.11 m çapındaki yatak sonuçları ile kıyaslandığında, kuartz kumu için, 0.20 m'lik yatağın serbest bölgesinde yanmanın daha sınırlı kaldığı görülmektedir. 0.20 m çapındaki yatakta karşılaşılan bu durum, linyit beslemesinin serbest bölgeden yapılması nedeni ile uçucu madde çıkışı ve yanmasının serbest bölge sıcaklık dağılımını belirli ölçülerde etkilemesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4-5 0.4-0.7 mm Yatak Malzemesi İçeren 0.11 m Çapındaki Akışkan Yatakta Göynük Linyiti Yakılması ile Elde Edilen Sıcaklık Dağılımları, $F_k = 28$ g/dak., $F_H = 10$ m³/h.

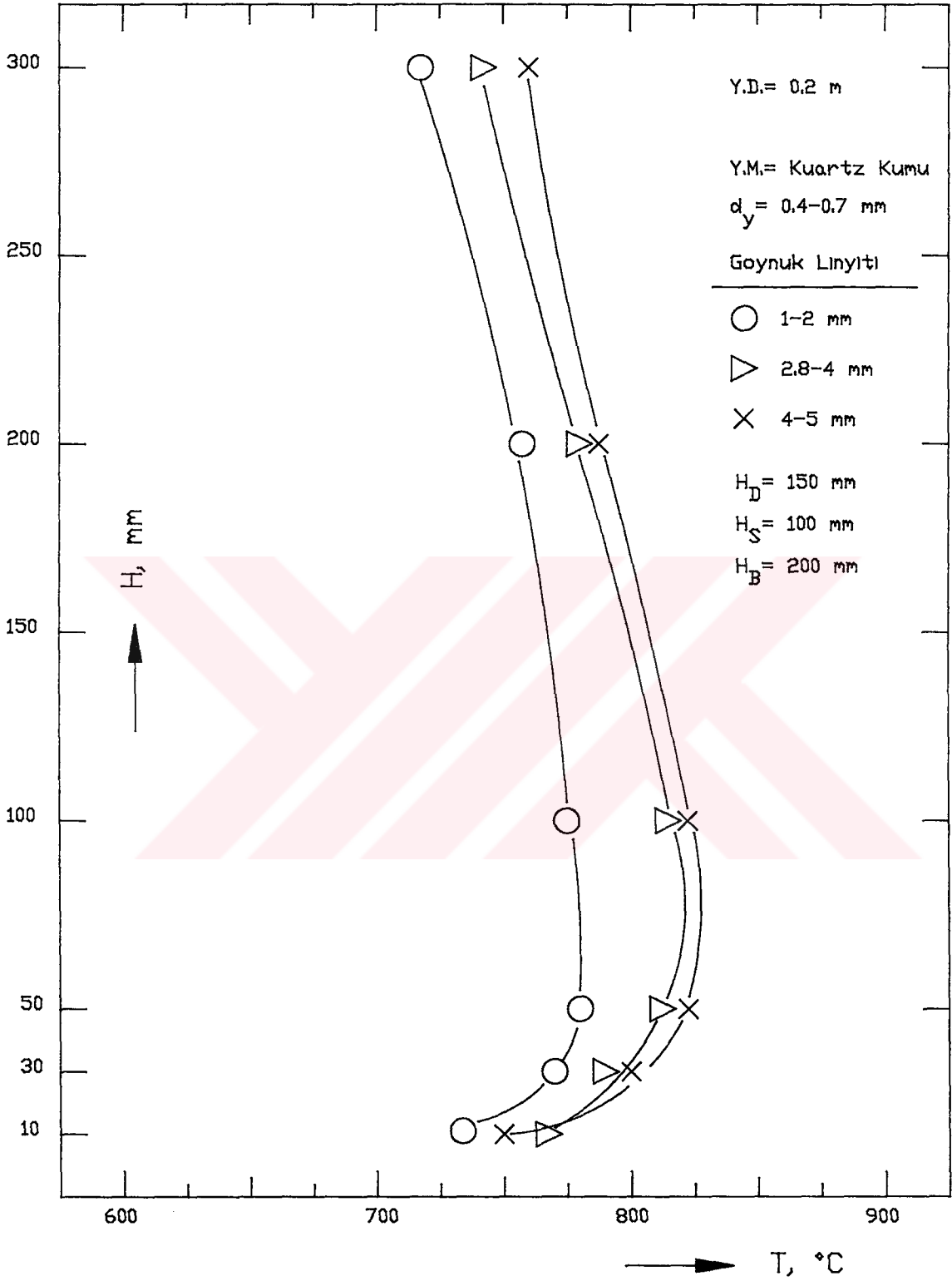


Şekil 4-6 0.4-0.7 mm Çapında Farklı Yatak Malzemeleri İçeren 0.2 m Çapındaki Akışkan Yatakta Göynük Linyiti Yakılması ile Elde Edilen Sıcaklık Dağılımları, $F_k = 110$ g/dak., $F_H = 45$ m³/h.

4.2.3. Yatak Malzemesi Tanecik Boyutunun Sıcaklık Dağılımına Etkisi

Yatak malzemesi tanecik boyutunun sıcaklık dağılımına olan etkisini belirlemek amacıyla 0.4-0.7 mm ve 0.7-1.0 mm'lik yatak malzemesi fraksiyonlarını içeren 0.20 m çapındaki akışkan yatakta yanma deneyleri yapılmıştır. Deneyler, 1-2 mm, 2.8-4.0 mm ve 4-5 mm'lik üç değişik linyit fraksiyonu ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4-4, Şekil 4-7 ve Tablo 4-1'de verilmiştir. Linyit tanecik boyutunun aynı tutulduğu deneylerde, yatak malzemesinin boyutu 0.7-1.0 mm'den 0.4-0.7 mm'ye düşürüldüğü zaman her üç linyit fraksiyonu için de ΔT_1 değeri azalmıştır. Buna karşılık, ΔT_{30} değeri pek net olmayan bir davranım sergilemiştir. Yatak malzemesi boyutundaki küçülme, ile ΔT_1 değerlerindeki düşme sistemin ayrışma rejimindeki değişme ile tutarlı bir sonuç vermiştir. Çünkü, 4-5 mm, 2.8-4.0 mm ve 1-2 mm tanecik boyutundaki linyitler için, yatak malzemesi boyutundaki değişme ile sırasına göre, sistemde orta linyit yüzüşen-zayıf linyit batışan, orta linyit yüzüşen-orta linyit batışan ve kuvvetli linyit yüzüşen-zayıf linyit yüzüşen zengin rejimler gerçekleşmektedir. Başka bir deyimle, yatak malzemesi tanecik boyutu düşürüldüğü zaman, sistem linyit yüzüşen karakterden, linyit batışan karaktere geçmektedir. Sistemde ortaya çıkan bu ayrışma eğilimi daha fazla linyit taneciğinin yatağın alt kısımlarında toplanması ve 0.01 m düzeyindeki sıcaklığın artması ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle yatak malzemesi boyutundaki değişme, ortaya çıkan ayrışma rejimi çerçevesinde etkin olmaktadır.

Linyit yüzüşen ayrışma sistemlerinde, uçucu madde yanmasının sistem üzerindeki etkisine bakıldığında, diğer iki yatak malzemesine kıyasla ikinci derecede yüksek yatak içi sıcaklık farklılaşmasına sahip olan Şile kumu 0.30 m yükseklikte en büyük sıcaklık düşüşü göstermiştir. Şile kumunu, dolomit izlemiş ve en az sıcaklık düşüşü kuartz kumunda gözlenmiştir. Daha önce açıklandığı gibi, bu davranımın nedeni, kuartz kumu içeren yatakta, linyitin büyük kısmının yatağın üst kısımlarında kalmaya zorlanmış olmasıdır. Şile kumu ortamında bu davranış zayıflamaktadır. Başka bir deyimle, linyit külü ile yatak malzemesi yoğunlukları arasındaki fark, ayrışmanın ve sıcaklık dağılımındaki bozulmanın bir ölçüsü olmaktadır. Linyitin tanecik boyutu, yoğunluğunun



Şekil 4-7 0.4-0.7 mm Kuartz Kumu İçeren 0.2 m Çapındaki Akışkan Yatakta Farklı Tanecik Boyutunda Göynük Linyiti Yakılması ile Elde Edilen Sıcaklık Dağılımları, $F_k = 110$ g/dak., $F_H = 45$ m³/h.

Tablo 4-1. 0.2 m Çapındaki Akışkan Yatakta Ayrışma Eğilimine ΔT_1 , ΔT_3 ve ΔT_{30} Değerlerinin Etkisi

	Kuartz kumu	Göynük Linyiti	ΔT_1	ΔT_3	ΔT_{30}	Ayrışma Tipi
	0.7-1.0 mm	1.0-2.0 mm	140	25	60	Kuvvetli linyit yüzüşen
	0.7-1.0 mm	2.0-2.8 mm	110	25	70	Kuvvetli linyit yüzüşen
	0.7-1.0 mm	2.8-4.0 mm	100	20	80	Orta linyit yüzüşen
	0.7-1.0 mm	4.0-5.0 mm	90	20	90	Orta linyit yüzüşen
	0.4-0.7 mm	1.0-2.0 mm	40	10	60	Çok zayıf linyit yüzüşen
	0.4-0.7 mm	2.8-4.0 mm	48	17	69	Orta linyit batışan
	0.4-0.7 mm	4.0-5.0 mm	68	23	76	Kuvvetli linyit batışan
H_p/D	Sile kumu					
0.5	0.4-0.7 mm	4.0-5.0 mm	70	25	80	Orta linyit batışan
	0.4-0.7 mm	2.8-4.0 mm	30	10	85	Zayıf linyit batışan
	0.4-0.7 mm	1.0-2.0 mm	100	30	50	Zayıf linyit batışan
0.75	0.4-0.7 mm	4.0-5.0 mm	55	20	120	Kuvvetli linyit batışan
	0.4-0.7 mm	2.8-4.0 mm	40	20	60	Orta linyit batışan
	0.4-0.7 mm	1.0-2.0 mm	40	20	25	Zayıf linyit batışan

olumsuz etkisini dengeleyecek kadar büyük olmaması durumunda her üç yatak malzemesi ortamında da linyit beslemesinin başladığı anda sistem (2b) tipi olmaktadır [42]. Külden daha hafif bir yatak malzemesinin kullanılması durumunda da, yatak içi sıcaklık dağılımının bozulması beklenebilirdi.

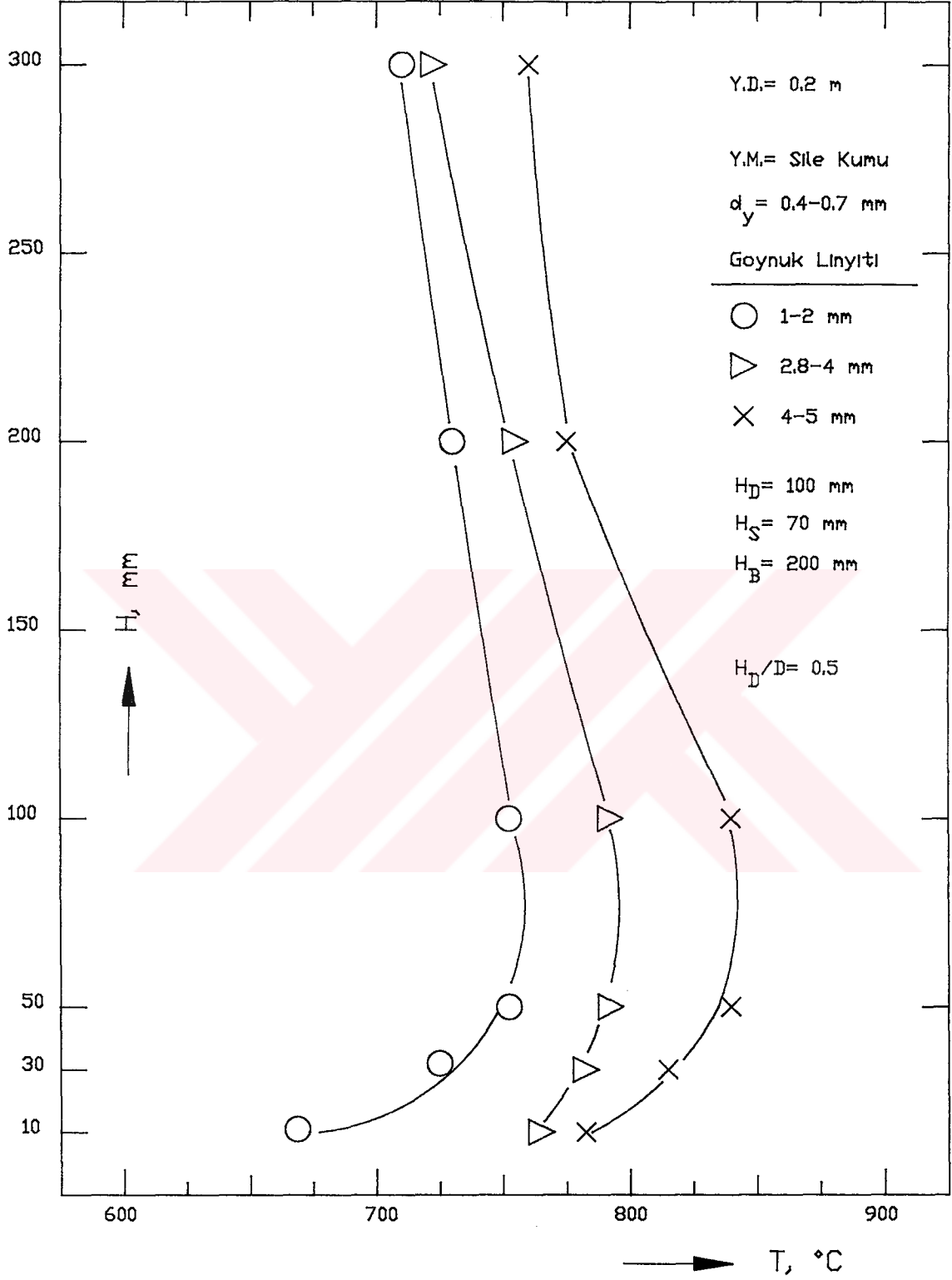
0.1-0.4 mm'lik kum ve 4-5 mm'lik linyit tanecikleri ile yürütülen bazı deneylerde, 3b tipi ayrışmanın oluştuğunu doğrulayan sıcaklık dağılımları elde edilmiştir.

Bu olay yatak malzemelerinin kıyaslanmasında, tanecik boyutunun da, bir parametre olarak, göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymaktadır. Zira mevcut çalışma koşullarında bile en düşük yatak malzemesi tanecik boyutu için gözlenen yatak davranımının en büyük tanecik boyutunda tamamen değişebilmesi söz konusudur.

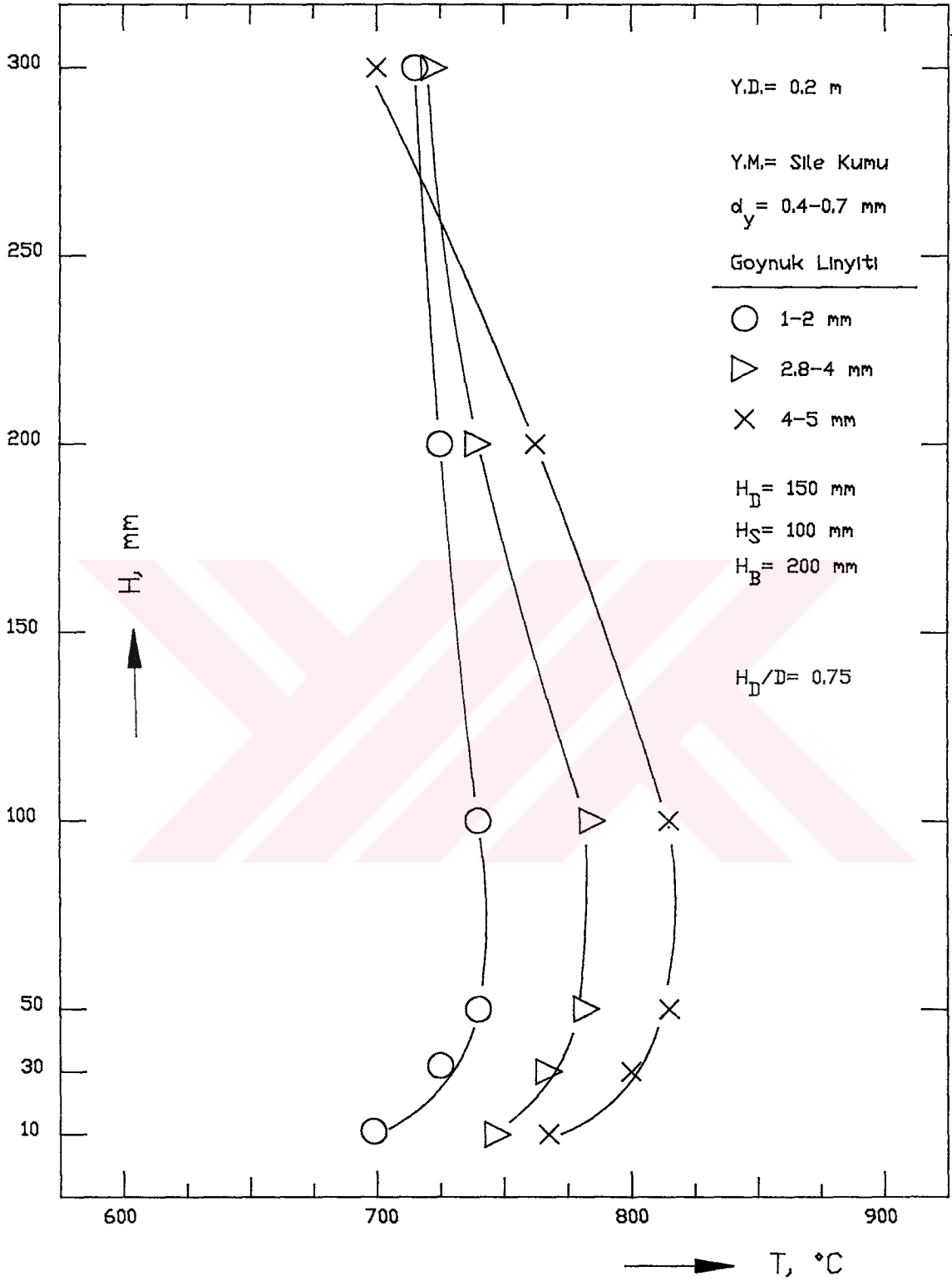
4.2.4. Yatak Yüksekliği/YatakÇapı Oranının Sıcaklık Dağılımına Etkisi

Yatak yüksekliği/çap oranının (H/D) sıcaklık dağılımına etkisini saptamak amacı ile, 0.20 m çapında ve 0.4-0.7 mm'lik Şile kumu içeren akışkan yatakta statik ve dinamik, yatak yükseklikleri (H_S ; H_D) yaklaşık %50 oranında artırılarak bir seri deney yapılmıştır. Deneylerde, değişik boyutlardaki Göynük linyitleri yakılmıştır. Dinamik yatak yüksekliği 0.10 m, statik yatak yüksekliği 0.07 m olan akışkan yatakla yürütülen deney sonuçları Şekil 4-8'de, dinamik ve statik yatak yükseklikleri sırasıyla, 0.15 m ve 0.10 m olan akışkan yatakta gerçekleştirilen deneylerin sonuçları ise Şekil 4-9'da verilmiştir. Deneyler boyunca ölçülen ve karışma ve ayrışmanın göstergeleri olarak göz önüne alınan

ΔT_1 ve ΔT_{30} diferansiyel sıcaklık farkları da Tablo 4-1'de gösterilmiştir. Dinamik ve statik yatak yükseklikleri 0.10 m ve 0.70 m olan akışkan yatakta yapılan deneylerde, aglomerasyon olayı gerçekleşmeden önce deneye son verilmiştir.



Şekil 4-8 0.4-0.7 mm Şile Kumu İçeren 0.2 m Çapındaki Akışkan Yatakta Farklı Tanecik Boyutunda Göynük Linyiti Yakılması ile Elde Edilen Sıcaklık Dağılımları, $F_k = 100$ g/dak., $F_H = 45$ m³/h., $H_D/D = 0.5$



Şekil 4-9 0.4-0.7 mm Şile Kumu İçeren 0.2 m Çapındaki Akışkan Yatakta Farklı Tanecik Boyutunda Göynük Linyiti Yakılması ile Elde Edilen Sıcaklık Dağılımına L/D Oranının Etkisi, $F_k = 110$ g/dak., $F_H = 45$ m³/h., $H_D/D = 0.75$

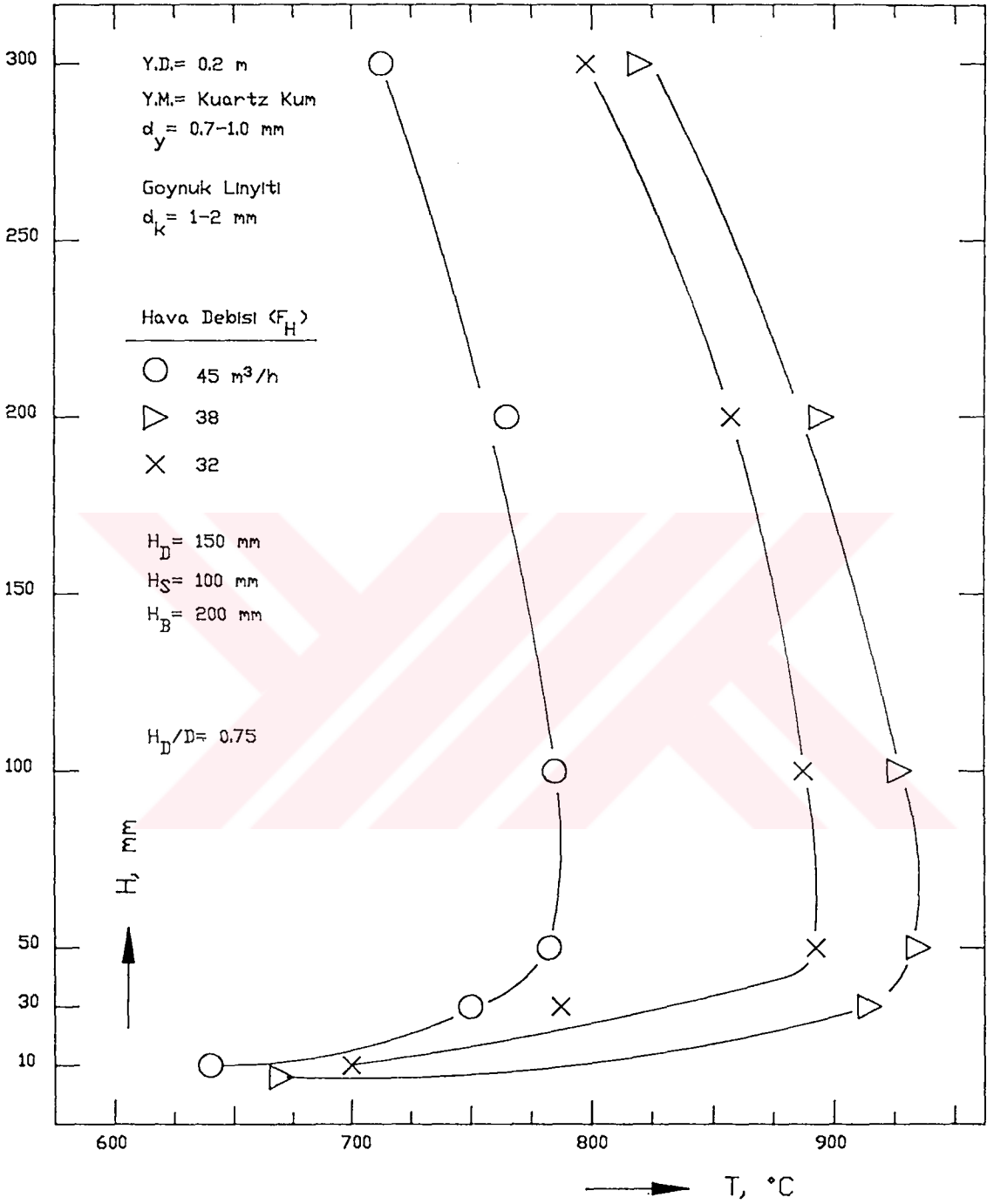
0.4-0.7 mm'lik Şile kumu ve 4-5 mm'lik Göynük linyiti ile aynı hava debilerinde, $12.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, yürütülen söz konusu deneylerin sonuçları gözden geçirildiği zaman, H/D oranının 0.75 olduğu yataklarda, aynı oranın 0.5'e düştüğü yataklara kıyasla, daha tekdüze bir sıcaklık dağılımının gerçekleştiği, buna karşılık elde edilen ΔT_{30} değerlerinin ise daha büyük olduğu görülür. Bunun nedeni, dinamik ve statik yatak yüksekliklerinin artırılması ile akışkanlaşmanın kalitesini olumlu yönde etkileyen küçük yatak malzemesi taneciklerinin yataktan taşınmalarının önlenmiş veya yatakta kalma sürelerinin uzatılmış olmasıdır. Daha önce de tartışıldığı gibi, 4-5 mm'lik Göynük linyit tanecikleri ile 0.4-0.7 mm'lik Şile kumu taneciklerinde oluşan ikili karışımların ayrışma sürecindeki davranımları 3b tipi sistemlerin davranımına uymaktadır [42]. Daha büyük H/D değerleri için yatak içinde bulunan yüzüşen karakterdeki kum oranı artmakta ve linyit ve kum tanecikleri daha iyi bir şekilde karışmaktadır. Böylece yanma aktif yatağın alt bölgelerinde yoğunlaşmakta ve serbest bölgede sıcaklıklar düşmektedir. H/D oranı 0.75 olan akışkan yatakta, 1-2 mm Göynük linyiti ile yapılan deneylerde 4-5 mm tanecik boyutu ile gerçekleştirilen deneylere kıyasla daha tekdüze bir sıcaklık dağılımı elde edilirken, ΔT_{30} sıcaklık farkının daha düşük değerlerde kaldığı gözlenmiştir. Şile kumu, kullanılan linyitin külünden çok daha yoğun olmasının yanı sıra linyit tanecik boyutunun da %300 oranında küçülmesi ile oluşan karışım bu defa linyit yüzüşen karakterdeki bir sisteme dönüşmüştür. Böylece dinamik ve statik yatak yüksekliği arttıkça hem yatakta kalan batışan karakterdeki yatak malzemesinin oranı artmakta hem de küçük yatak malzemesi taneciklerinin taşınması büyük ölçüde önlenmiş olmaktadır. Dolayısıyla ayrışma eğilimi H/D oranı 0.5 olan yatağa kıyasla azalmaktadır. Bu koşullar altında gözlenen davranım, linyit yüzüşen zengin türü koşullarda çalışan Atakül'ün [8] deneysel gözlemleri ile uygunluk içerisindedir. Daha yüksek H/D oranı için ΔT_{30} 'un daha düşük olması, evvelce belirtilen deneye kıyasla linyitin yüzüşen komponent haline dönüşmesiyle açıklanabilir.

Sonuç olarak; dinamik ve statik yatak yüksekliğindeki artışın etkisi, yatak malzemesi tanecik boyutu ile şekillenen ayrışma sisteminin özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedir.

0.11 m ve 0.20 m çaplarındaki akışkan yataklarda, 1-2 mm, 2.8-4 mm, 4-5 mm'lik tanecik boyutlarındaki Göynük linyiti ve 0.4-0.7 mm boyutundaki Şile kumu ile yapılan deneylerde H/D oranı, 0.11 m çapındaki yatakta 0.9, 0.20 çapındaki yatakta 0.5'tir. Şekil 4-3 ve Şekil 4-8'de gösterilen sıcaklık profilleri incelendiği zaman, çalışma koşullarında gelişen ayrışma rejimlerinin yatak içi karışma ve yanma etkinliğini büyük ölçüde etkilediği görülür. Örneğin, 4-5 mm tanecik boyutundaki linyit için 0.11 m çapındaki yatakta, ΔT_1 , ΔT_3 ve ΔT_{30} değerleri ile 60°C, 5°C ve 200°C iken 0.20 m çapındaki yatakta bu değerler yine sırasıyla 70°C, 25°C, 80°C olmuştur. Bu diferansiyel sıcaklık değerleri arasındaki fark 0.11 m çapındaki yatağın şiddetli linyit batışan, 0.20 m çapındaki yatağın orta linyit batışan ayrışma sisteminde olması ile açıklanabilir. Ayrıca 1-2 mm tanecik boyutundaki Göynük linyiti ile yürütülen deneylerde, büyük ve küçük yatak çapları için aglomerasyon öncesi ΔT_1 , ΔT_3 ve ΔT_{30} değerleri 400°C, 40°C ve 0°C ve 100°C, 30°C, 50°C olarak saptanmıştır. Bu değerler küçük çaplı yatağın zayıf linyit yüzüşen, büyük çaplı yatağın zayıf linyit batışan ayrışma rejiminde bulunması ile uyum içerisinde. Öte yandan, ΔT_3 değerleri incelenirse linyit besleme noktasının, serbest bölge sıcaklık dağılımı açısından, ayrışma türünün etkisini dengeleyemediği görülür.

4.2.5. Hava Hızı Değişiminin Sıcaklık Dağılımına Etkisi

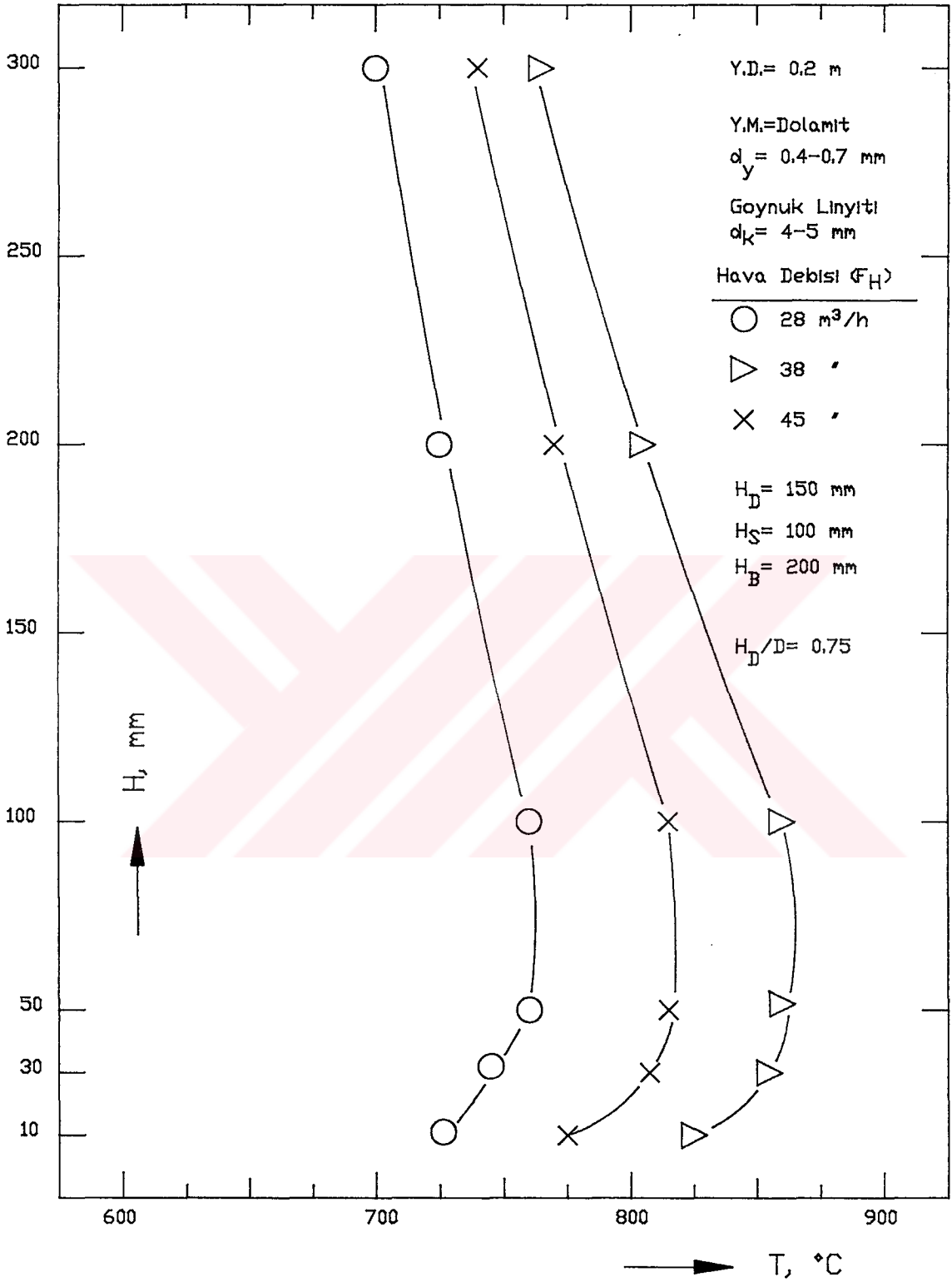
0.7-1.0 mm'lik kuartz kumunu içeren ve dinamik ve statik yüksekliklerin sırasıyla 0.15 m ve 0.10 m olan 0.20 m çapındaki akışkan yatakta, 1-2 mm çapındaki Göynük linyit fraksiyonu ile yapılan deneylerde $8.89 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $12.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ hava debileri elde edilen sıcaklık dağılımları Şekil 4-10 da gösterilmiştir. Belirlenen deneysel koşullar altında hava hızı arttıkça tüm yatak boyunca sıcaklık değişmektedir. Bunun en önemli nedeni artan hava debisi ile tüm sistemde meydana gelen soğumadır. Diğer etken de, yüksek hava hızlarında yatakta daha fazla miktarda linyit taneciğinin sürüklenmiş olmasıdır. Hava debisi azaldıkça, aktif yatak sıcaklığı ile dağıtıcı eleğe en yakın bölge sıcaklığı arasındaki fark artmaktadır. Bu husus, şüphesiz gaz hızı karışma etkinliğini olumlu yönde etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni linyit yüzüşen zengin olarak



Şekil 4-10 0.7-1.0 mm Kuartz Kumu İçeren 0.2 m Çapındaki Akışkan Yatakta 1-2 mm Çapında Göynük Linyitinin Değişik Hava Debilerinde Yakılması ile Elde Edilen Sıcaklık Dağılımları, $F_k = 110$ g/dak.

sınıflandırılan bu tür sistemler linyit taneciklerinin penetrasyon derinliği akışkanlaşma hızı ile taneciklerin minimum akışkanlaşma hızı arasındaki farkla orantılı olarak büyümektedir [42]. İlerideki bölümlerde de tartışılacağı gibi, hava hızındaki azalma ve buna paralel olarak artan durgunlaşma ve ayrışma eğilimi ile yüksek sıcaklıklar aglomerasyon süresinde önemli rol oynamaktadır. İri kuartz kumu ve küçük linyit taneciklerinden oluşmuş yatak içeriği zamanla ayrışma eğilimine girmektedir. Yüksek hava debilerinde şiddetli karışmadan dolayı büyük ölçüde önlenebilen bu gelişme, hava debisi düştükçe belirginleşmeye başlamaktadır.

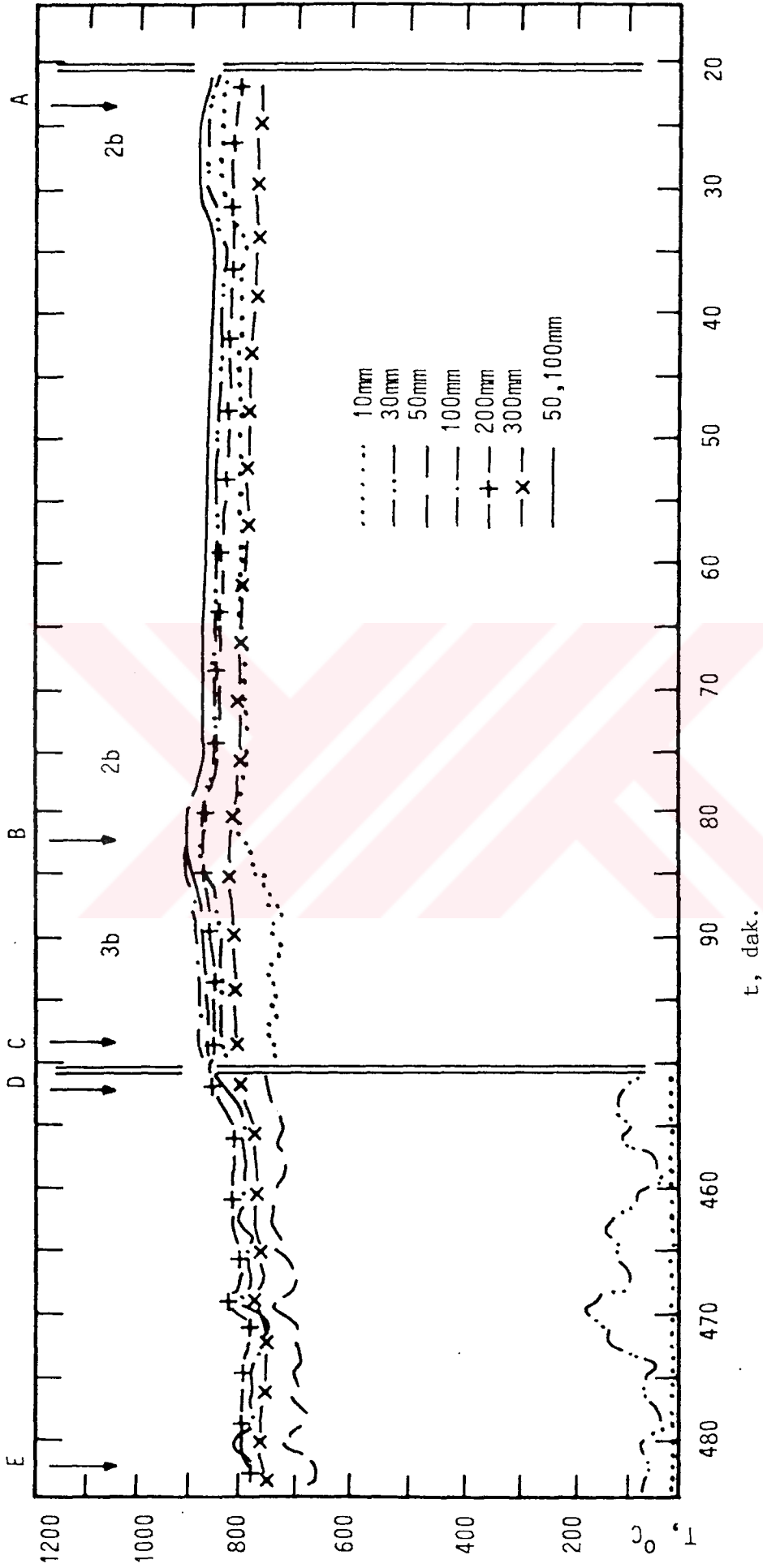
Yatak malzemesi olarak dolamit içeren yatakta hava hızının etkisini incelemek üzere 0.20 m çapındaki yatakta 0.4-0.7 mm boyutundaki yatak malzemesi ve 4-5 mm tanecik büyüklüğünde Göynük linyiti yakılmıştır. Bu deneylerde statik yatak yüksekliği 0.1 m, dinamik yatak yüksekliği 0.20 m ve akışkanlaştırma hava debisi $8.89 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ve $12.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ olarak değiştirilmiştir. Deney sonucunda Şekil 4-11 de gösterilen sıcaklık profilleri elde edilmiştir. Hiç bir hava debisi için, kuartz kumu ortamında olanın tersine, deney süresince saf komponente özgü bir ayrışma görülmemiştir. Hava debisinin bir miktar artması ile yatak sıcaklığında önemli bir artış görülmemiştir. $12.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik hava debisinde yatak sıcaklığı düşmüştür. $(8.89-10.55) \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ arasındaki hız artışıyla karşılaşılan sıcaklık artışının nedeni oksijen fakir durumdan, akışkan yatakta yanmanın genellikle verimli olduğu %20 hava fazlalığına çıkılmış olmasıdır. [8, 29, 32]. Başka bir ifade ile bu koşullarda etken olan parametre yanma verimindeki artıştır. Ancak hava debisi $12.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 'e çıkartıldığı zaman gazın yataktan çektiği ısı ve tanecik sürüklenmesindeki artışın etkisi ile yatak sıcaklığı tüm bölgelerde düşmüştür. Yanmanın, kuartz kumu içeren yataktakine oranla, daha kararlı olmasının nedeni, çok daha iri linyit taneciklerinin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Linyit külü dolamite kıyasla çok daha hafif olduğu için hava hızının artırılması ve daha iri linyit taneciklerinin kullanılması ayrışma eğilimini azaltıcı yönde olayı etkilemektedir.



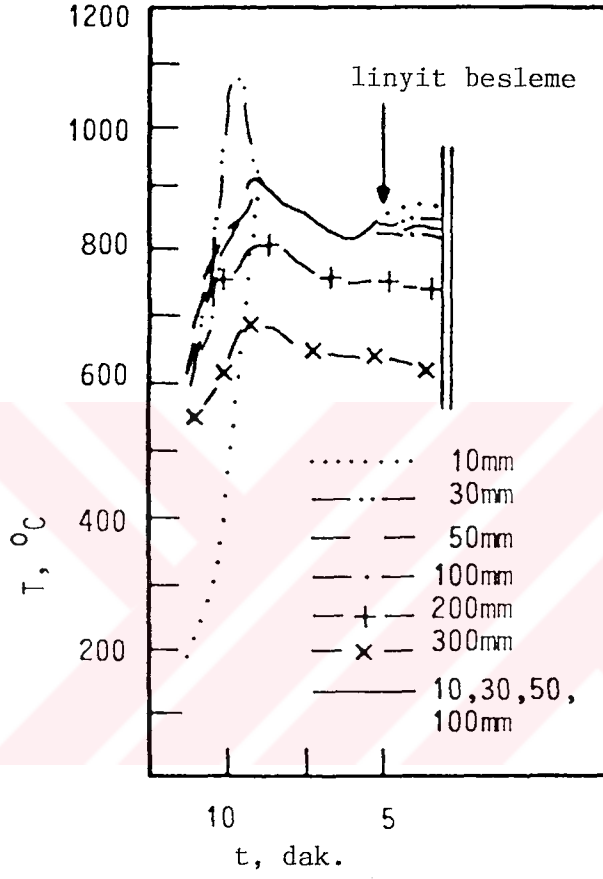
Şekil 4-11 0.4-0.7 mm Dolomit İçeren 0.2 m Çapındaki Akışkan Yatakta 4-5 mm Çapında Göynük Linyitinin Değişik Hava Debilerinde Yakılması ile Elde Edilen Sıcaklık Dağılımları, $F_k = 110$ g/dak.

4.2.6. Linyit/Yatak Malzemesi İkili Sistemi Ayrışma Dinamiğinin Zamanla Değişimi

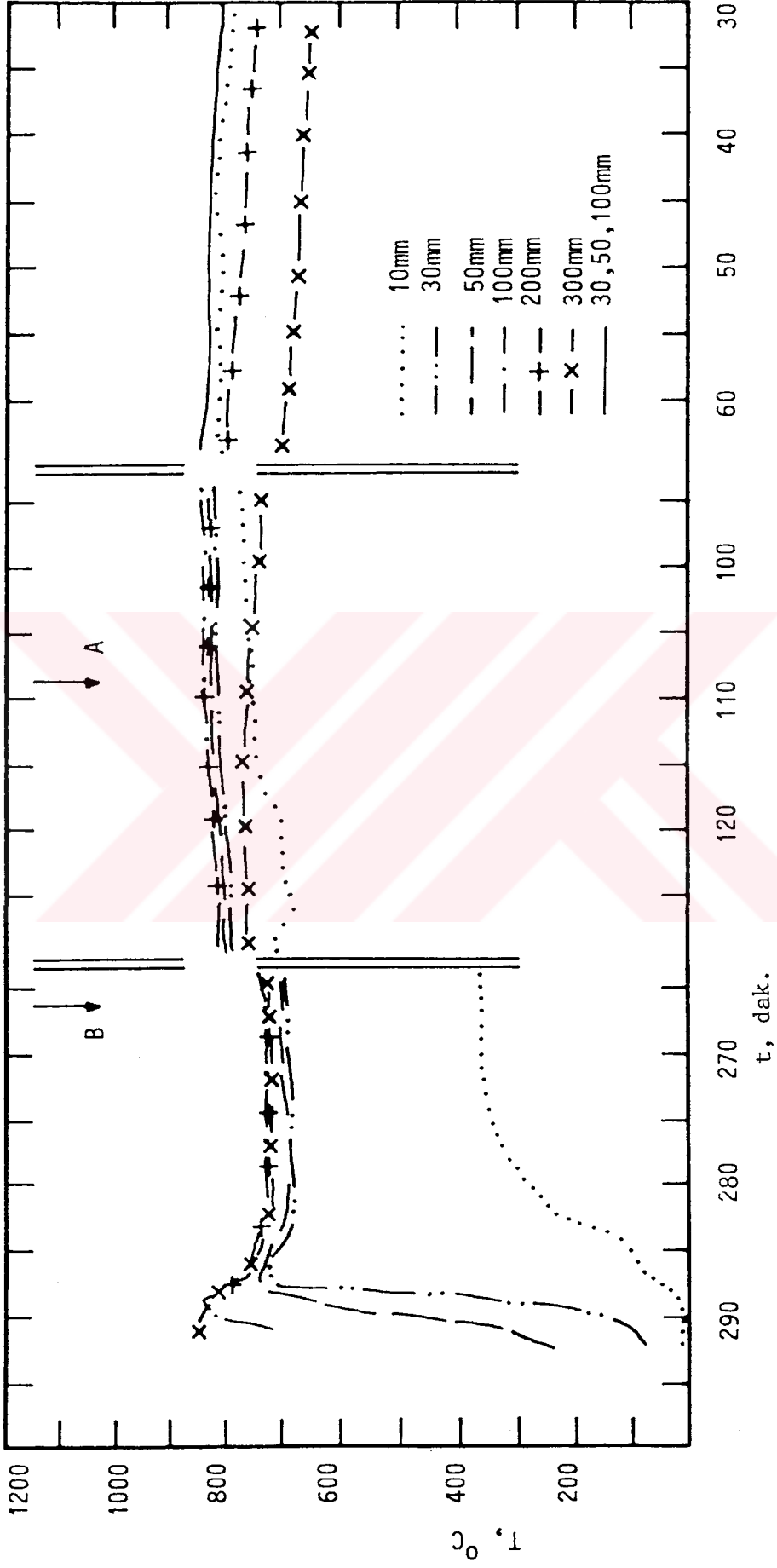
Deneylerin yapıldığı yataklarda başlangıçta sadece yatak malzemesi bulunmaktadır. Sisteme linyit beslemesi ile birlikte oluşan yatak malzemesi kül karışımında iki bileşimden hangisinin yüzüşen veya batışan olduğunu yoğunluk ve/veya çap oranları belirlemektedir. Zamanla oluşan denge doğrultusunda, yatak sıcaklığı sürekli olarak sinterleşme sıcaklığına doğru ilerlemektedir. Ayrışma rejiminde başlayan bu değişim sözü edilen parametreler tarafından belirlenen dinamik bir denge kuruluncaya kadar sürecektir. Denge durumundan önce yatağın herhangi bir noktasında kül sinterleşme sıcaklığına ulaşırsa akışkanlaşma kaybedilmektedir. Şekil 4-12, Şekil 4-13 ve Şekil 4-14 de , ikili sistemlerde ayrışmanın gelişmesini gösteren deneysel sonuçlar görülmektedir. Şekil 4-12'de verilen zaman-sıcaklık grafikleri, yatak malzemesi olarak 0.4-0.7 mm'lik Şile kumu içeren 0.20 m çapındaki yatakta 1-3 mm'lik Çan-3 linyit numunesi yakılarak gerçekleştirilen deneylere aittir. Deneylerde hava debisi $0.0125 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, statik ve dinamik yatak yüksekliği sırası ile 0.10 m ve 0.15 m olarak saptanmıştır. Deneye %100 oranında kum tanecikleri ile başlandığı ve linyit tanecikleri daha hafif olduğu için başlangıçta sistem tamamen (2b) tipi ayrışma özelliği taşımaktadır [49]. Burada kum batışan, linyit yüzüşen komponentlerdir ve zaman içerisinde yatakta olan taşınma nedeni ile, yataktaki kum miktarı azalırken kül miktarı artmaktadır. Böylece yatak, linyit yüzüşen-zengin ayrışma rejimine yönelmektedir. Şekil 4-12'de ikili karışım B noktasına kadar (2b) özelliği göstermektedir. Bu noktadan sonra ise, sistem dinamik olarak 3b tipi ayrışmanın rejim karakterini göstermeye başlamaktadır. Nitekim 0.10 m de ölçülen sıcaklığı sürekli olarak düşmesinden, yatağın alt kısmında, yüzüşen zengin sistemlere özgü ve yalnızca bir bileşenden oluşan bir tabakanın oluştuğu anlaşılmaktadır. Yüzüşen linyitin, yatağın üst kısımlarında toplanması ve uçucu madde yanmasının yine bu bölgede yoğunlaşması nedeni ile serbest bölge sıcaklıkları yükselmiştir.



Şekil 4-12 Linyit Yüzüşen Zengin Sistemde Sıcaklık Dağılımı, (Y.M.=Şile Kumu, $d_y=0.4-0.7\text{mm}$, $d_k=1-3\text{mm}$
Çan Linyiti, $H_D=150\text{mm}$, $H_S=100\text{mm}$, $H_B=200\text{mm}$, $F_k=100\text{gr/dak.}$, $F_H=45\text{m}^3/\text{h.}$, $Y.D.=0.2\text{m}$)



Şekil 4-13 Kuvvetli Linyit Batışan Sistemde Sıcaklık Dağılımı,
(Y.M.=Şile Kumu, $d_y=0.1-0.4\text{mm}$
 $d_k=4-5\text{mm}$ Göynük Linyiti,
 $H_D=100\text{mm}$, $H_S=70\text{mm}$, $H_B=100\text{mm}$,
 $F_k=28\text{g/dak.}$, $F_H=10\text{m}^3/\text{h}$, Y.D.=0.11m.)



Şekil 4-14 0.4-0.7 mm Şile Kumu İçeren 0.11 m Çapındaki Akışkan Yatakta 1-2 mm Tanecik Boyutunda Göynük Linyiti Yakılması ile Elde Edilen Sıcaklık Dağılımı,

Sıcaklık profilleri incelendiği zaman, deneylerin başlangıcında sistemde linyit batışan (çöküşen) bir davranım söz konusu olduğu anlaşılmaktadır. Bu aşamada 0.01 m ve 0.03 m'lerde ölçülen bölge sıcaklıkları, 0.10 m'deki yatak sıcaklığına yakın değerlerde seyrederken, serbest bölge sıcaklıkları göreceli olarak daha düşük değerler almaktadır. Bunda, kömür taneciklerinin boyut ve yoğunluğunun etkisinin yanı sıra, yatak malzemesinin içerdiği ince taneciklerin karışma etkinliğinin olumlu yönde artırılmasının da rolü vardır. Zamanla da bu ince taneciklerin ortamdan uzaklaşması ile yatak malzemesinin ortalama tanecik boyutu daha büyük değerler almaktadır. Bu gelişmeler karışma rejiminin "**linyit batışandan**" , "**linyit yüzüşene**" dönüşmesine neden olmaktadır.

Benzer bir değerlendirme, 4-5 mm boyutundaki Göynük linyiti ve 0.1-0.4 mm'lik Şile kumu taneciklerini içeren 0.11 m çapındaki yatak için yapılabilir. Bu sistemin başlangıçta yine (2b) özelliğini göstermektedir. Ancak linyitin tanecik büyüklüğü yatak malzemesi boyutuna kıyasla çok büyük olduğu için, ayrışmada genelde en önemli parametre olan yoğunluk faktörü bu çalışma koşullarında etkinliğini büyük bir ölçüde yitirmektedir. Nitekim karışımı oluşturan taneciklerin boyut oranının 0.35'den küçük ve konsantrasyonlarının düşük olması halinde, yoğun taneciklerin yüzüşen olabileceği Chiba v.ç.a [49] tarafından belirtilmiştir. Buna göre yatağa batışan olarak giren linyit tanecikleri yatağın alt bölgelerine doğru hareket ederler. Zaman içerisinde yatak malzemesinin küçük fraksiyonları yatağı terk etmesiyle karışım kül yüzüşen-zengin bir sistem haline dönüşmektedir (3b). Bu durumda başlangıçtan dinamik denge durumuna gelinceye kadar geçen sürede, bir önceki örnekte olduğu gibi, sistemde dağıtıcı eleğe yakın kısımlarda tamamen tek bileşenden oluşan bir tabaka gözlenmektedir. Bu tip akışkan yataklarda özellikle yüksek uçucu madde içeren katı yakıtların yakılması sırasında pek çok araştırmacı tarafından gözlenen ve linyit taneciklerinin uçucu madde çıkışı tamamlanıncaya kadar yatağın üst kısımlarında yoğunlaşması ile ifade edilen eğilimi, ayrışma rejiminin özelliğinden dolayı gözlenmemektedir. Son aşamada ise literatürde belirtilen davranım söz konusudur. 1-2 mm tanecik boyutundaki Göynük linyitinin 0.4-0.7 mm tanecik aralığındaki Şile kumu içeren 0.11 m çapındaki yatakta yanması sırasında linyitin beslendiği andan bağlama anına kadar kaydedilen sıcaklık zaman profilleri Şekil 4-14'de verilmiştir.

Deneysel sonuçlar incelendiği zaman başlangıçta linyit taneciklerinin batışan karakterde oldukları anlaşılmaktadır, çünkü bu aşamada 0.010 m ve 0.030 m de ölçülen sıcaklıklar yatak sıcaklığına yakın seyrederken serbest bölge sıcaklıkları göreceli olarak düşük değerlerde seyretmektedir. Zamanla yatağın üst kısımlarında yoğunlaşmış olan yüzüşen yatak malzemesinin ince fraksiyonları yataktan taşındıkça yoğunluk ayrışma üzerindeki belirleyici faktör olmaya başlamakta ve olayı dengelemektedir (A noktası). B noktasına gelindiğinde ise sistemde artık linyit yüzüşen, Şile kumu ise batışan durumundadır. Nitekim deneyin sonlarına doğru, sadece batışan yatak malzemesini içeren bir tabakanın oluştuğu ısı profillerinden anlaşılmaktadır.

Şile kumu, dolomit ve kuartz kumu içeren 0.20 m çapındaki akışkan yataklarda 4-5 mm'lik Göynük linyiti yakılarak gerçekleştirilen deneyler ile 0.4-0.70 mm'lik Şile kumundan oluşan 0.11 m çapındaki akışkan yatakta yine aynı linyitin değişik fraksiyonları kullanılarak yapılan deneyler sırasında ölçülen ΔT_3 , ΔT_{30} değerleri ve saptanan ayrışma rejimleri Tablo 4-1, Tablo 4-2 ve Şekil 4-3'de gösterilmiştir. Tablo 4-1 incelendiğinde 1-2 mm'lik tanecik boyutundaki Göynük linyiti ve 0.4-0.7 mm'lik Şile kumu ile yapılan deneylerde oluşan ayrışma rejiminin geçiş rejimi olduğu saptanmıştır. Tabloda, yukarıya doğru çıkıldıkça, daha çok kum yüzüşen tipi ayrışma eğilimi gösteren sistemlerle karşılaşılmaktadır. Nitekim 1-2 mm'lik linyit ve 0.7-1.0 mm'lik kuartz kumu için elde edilen ΔT_3 değeri, yatak içinde oluşan en şiddetli linyit yüzüşen-zengin tipi ayrışmayı yansıtırken, serbest bölge ile aktif yatak sıcaklıkları arasında farkı gösteren ΔT_{30} değeri en düşük düzeyde kalmıştır. Başka bir ifade ile, linyit tanecikleri yatak yüzeyine lokalize olarak yanmakta ve serbest bölgedeki yanma şiddetlenmektedir. Diğer taraftan, tabloda yukarıdan aşağıya doğru gidildikçe karşılaşılan ikili sistemler daha fazla linyit yüzüşen-ayrışma özelliği göstermektedir. Nitekim 4-5 mm tanecik aralığındaki linyit ve 0.4-0.7 mm boyutundaki Şile kumu için en büyük ΔT_3 değerleri elde edilmiştir. ΔT_3 'ün bu derece yüksek olması, yatak içinde ayrışmanın gittikçe netleştiğini, dolayısıyla karışımının iyice bozulduğunu göstermektedir. ΔT_{30} değerinin büyük olması ise, bu çalışma koşullarında, taneciklerin çok daha batışan tanecik davranımı içinde olması ve yanmanın, yatak içinde gittikçe yoğunlaşmasından kaynaklanmaktadır. Göynük linyitinin, Şile

kumu içeren 0.2 m çapındaki akışkan yatakta yanması sırasında da benzer bir davranımla karşılaşmıştır.

4.3. Göynük Linyitinin Aglomerasyonu

Bundan önceki bölümde, 0.11 m ve 0.20 m çapındaki akışkan yataklarda Göynük linyiti yakılırken, tüm yanma olayının değişik şiddetteki linyit batışan ve yüzüşen zengin ayrışma rejimi koşullarında gerçekleştiği belirtilmiştir. Ayrıca, yapılan diferansiyel sıcaklık ve basınç düşüşü ölçümleri ile ayrışma süreci ve tiplerinin incelenebileceği gösterilmiştir. Bu bölümde, Göynük linyitinin aglomerasyonu ve aglomerasyona yol açan ve ayrışmayı da içeren nedenlerin aydınlatılması amaçlanmıştır. Aglomerasyon, temelde, bir ısıl süreç de içerdiği için dağılımlarının çok daha yararlı olacağı düşüncesi ile sıcaklık ölçümleri esas alınmıştır.

4.3.1. Linyit Tanecik Boyutunun Aglomerasyona Etkisi

4.3.1.1. Linyit Batışan Zengin Ayrışma Sistemi

0.11 m çapındaki yatakta, değişik boyutlardaki linyit tanecikleri ile yapılan deneylerde Tablo 4-3'de gösterilen aglomerasyon sıcaklıkları elde edilmiştir. 0.4-0.7 mm tanecik aralığındaki Şile kumu ile, benzer koşullarda gerçekleştirilen deneylerde, 1-2 mm tanecik boyutundaki Göynük linyiti, yatağı 850°C'de bağlarken 4-5 mm'lik tanecikler 960°C'de bağlamıştır. Bu davranımın temelinde yatan nedenlerin en önemlisi, tanecik boyutu büyüdükçe, toplam temas yüzeyinin küçülmesidir. Tanecik boyutunun büyümesine paralel olarak, aglomerasyon olayında itici güç görevini yapmakta olan tanecikler arası temas yüzeyi küçülmemekte ve böylece aglomerasyon eğilimi zayıflamaktadır. Aglomerasyon sıcaklığının, tanecik büyüklüğüne bağlı olarak değişmesinde ölçü sinterleşme sıcaklığının belirlenmesidir [58]. Nitekim Basu ve Sarkai [59] 1-1.4 mm ve 0.7-1.0 mm boyutlarındaki kömür tanecikleri için ilk

sinterleşme sıcaklıklarını ölçmüş ve bulunan değerlerin, geri akışkanlaştırma (defludizasyon) yolu ile aglomere olmuş yatakta, minimum akışkanlaşma koşullarında bulunmuş aglomerasyon sıcaklıklarına çok yakın olduğunu saptamıştır. Şekil 2-6 da verilen aglomerasyon sıcaklıkları, aynı zamanda sinterleşme sıcaklıklarının da bir ölçüsü olmuştur [58]. Tanecik boyutunun değiştirildiği durumlarda, boyut ve yoğunluk parametrelerinin paralel ve zıt yönde değiştirilmesi ile yatak hidrodinamiği, buna bağlı olarak yanma rejimleri ve dolayısıyla sinterleşme-aglomerasyon süresinde ortaya çıkan gelişmeler ayrıca belirlenmelidir.

Ayrışma eğilimlerini değerlendirmede, çok önemli belirtiler olan ΔT_3 ve ΔT_{30} diferansiyel sıcaklıklarından esinlenerek aglomerasyon sırasında dağıtıcı elekten 0.030 m ve 0.30 m uzaklıkta kaydedilen sıcaklıkların yatak sıcaklığı (0.10 m'deki kesit sıcaklığı) ile olan farkları aglomerasyon için gösterge olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye, 0.010 m'deki sıcaklık, jet penetrasyon ve soğuma etkileri nedeni ile, dahil edilmemiştir. Aglomerasyon başladıktan sonra 0.030 m ve 0.30 m düzeylerinde ulaşılan en yüksek sıcaklıkların yatak sıcaklığı ile olan farkları, sırasıyla ΔT_{3A} ve ΔT_{30A} olarak tanımlanmıştır. Bu diferansiyel sıcaklıkların sayısal değerine göre, ayrışma sistemlerini kendi içinde kıyaslamalı olarak sınıflandırmak mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, akışkan yataklı yakıcıya linyitin beslendiği andan bağlandığı ana kadar geçen süreye aglomerasyon süresi, $\Delta t'_{AG}$, olarak tanımlanmıştır. Bu değer, doğal olarak, daha çok kül yüzüşen-zengin tipteki sistemlerde çalışan Atakül'ün [8] tanımladığı aglomerasyon süresinden farklıdır. Bu tür sistemlerde, dağıtıcı elek civarında görülen ve saf batışan tanecikleri içeren bir tabakanın oluşmasıyla birlikte ayrışma ve geri akışkanlaşma başlamaktadır. Atakül [8], ayrışmanın başladığı andan, aglomerasyonun fiilen gerçekleştiği ana kadar süreyi aglomerasyon süresi olarak tanımlamıştır.

0.4-0.7 mm'lik tanecik boyutuna sahip Şile kumu ile gerçekleştirilen ve sonuçları Tablo 4-3 ile Şekil 4-15, Şekil 4-16 ve Şekil 4-19'da verilen deneylerde, linyitin tanecik boyutundaki küçülmeye paralel olarak ΔT_{3A} değeri büyümüştür. ΔT_{30A} değeri ise tanecik boyutunun küçülmesi ile azalmıştır. Başka bir deyişle, tanecik boyutu küçüldükçe yatak içinde yanma etkinliği azalırken, sistem, kül yüzüşen

zengin ayrışma rejimi özelliklerini kazanmakta ve yanma yatağın üst kısımlarına ve serbest bölgeye doğru kaymaktadır. En büyük linyit taneciklerinin yakıldığı ve yatak malzemesi boyutunun 0.1-0.4 mm'ye düşürüldüğü koşullarda ise en düşük düzeyde gerçekleştiği, şiddetli linyit batışan-zengin tipi bir karışım haline gelmiştir, Şekil 4-13. Linyit batışan sistemlere örnek olmak üzere Tablo 4-5- ve Şekil 4-19, Şekil 4-20 ve Şekil 4-21'deki değerler verilmiştir.

Nitekim yüzüşen zengin tipi ayrışma ve aglomerasyon eğilimli bir sistemin seçimi ile gerçekleştirilen bir çalışmada pek çok aglomerasyon deneyi sonucunda, katılaşmış yatağın üstten alta doğru bağladığı ve alttaki kuartz kum tabakasının genellikle serbest halde olduğu gözlenmiştir [29]. Yatak içi sıcaklık dağılımları incelendiği zaman bu tip ayrışma rejimi koşullarında, linyit tanecik boyutu büyüdükçe, yatak içerisinde sinterleşmenin başladığı kesitin dağıtıcı eleğe doğru kaymakta olduğu görülür. Tablo 4-3'de görüldüğü gibi, aglomerasyon süresi, $\Delta t'_{AG}$, 0.4-0.7 mm'lik Şile kumu içeren yatakta, linyit tanecik boyutundaki küçülme ile birlikte hızlı bir şekilde artmıştır. 1-2 mm tanecik boyutundaki linyit için bağlama sıcaklığı 850°C, 4-5 mm tanecik boyutu için 960°C ve $\Delta t'_{AG}$ süreleri ise sırası ile 350 ve 60 dakika olarak saptanmıştır. Aglomerasyon sıcaklığı yaklaşık olarak 110°C daha yüksek olan iri taneciklerin, çok daha kısa süreler içinde aglomerasyona uğramalarının nedeni, bu çalışma koşullarında tanecik boyutunun, yoğunluğa oranla daha etkin bir faktör haline gelmesi ve yanmanın aktif yatağın alt bölgelerinde yoğunlaşmasıdır. Böylece bu bölgelerde, göreceli olarak, çok daha kısa sürelerde aglomerasyon sıcaklıklarına ulaşılmaktadır. Nitekim tanecik boyutu büyüdükçe, yatağın bağlamasına yakın anlarda ΔT_{3A} artarken, ΔT_{30A} (-) yönde süratle yükselmektedir. Deneyler boyunca elde edilen sıcaklık profilleri, 1-2 mm'lik linyit taneciklerinin yandığı akışkan yatakta ısınma hızının 0.22 K/dak olduğunu, buna karşılık 4-5 mm tanecik boyutu için bu değer 2.5 K/dak olarak gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Deneyler süresince, değişik tane boyutları için benzer koşullarda ve aynı noktadan ölçülen CO yayınımları Tablo 4-4 de gösterilmiştir. Bu ölçümlerden, linyit tanecik boyutu büyüdükçe, taneciklerin yatak içerisine daha kolayca çekilebildiği ve dolayısıyla daha etkin bir ortamda yanmalarını sürdürdüğü anlaşılmaktadır.

Tablo 4-2. 0.11 m Çapındaki Akışkan Yatakta Ayrışma Eğilimine ΔT_3 ve ΔT_{30} Değerlerinin Etkisi

Şile kumu	Göynük Linyiti	ΔT_3	ΔT_{30}	Ayrışma Tipi
0.4-0.7 mm	1.0-2.0 mm	36	24	Zayıf linyit yüzüşen
0.4-0.7 mm	2.8-4.0 mm	38	59	Orta linyit batışan
0.4-0.7 mm	4.0-5.0 mm	50	120	Kuvvetli linyit batışan

Tablo 4-3. Çeşitli Sistemler İçin Saptanmış Aglomerasyon Sıcaklıkları, ΔT_{3A} ve ΔT_{30A} ve $\Delta t'_{AG}$ Değerleri

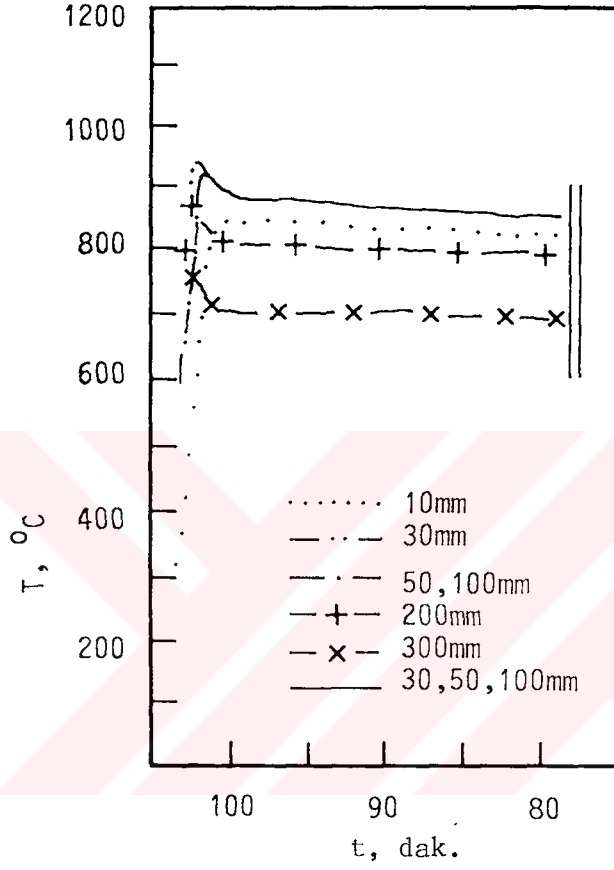
Yatak Malzemesi	Linyit	$T_{AG}, ^\circ C$	ΔT_{3A}	ΔT_{30A}	Ayrışma Tipi	$\Delta t'_{AG}, \text{dak.}$
Şile Kumu	Göynük Linyiti					
0.1-0.4 mm	4.0-5.0 mm	920	165	-235	Çok şiddetli linyit batışan	9
0.4-0.7 mm	4.0-5.0 mm	960	140	-200	Şiddetli linyit batışan	60
0.4-0.7 mm	2.8-4.0 mm	950	20	-190	Orta linyit batışan	85
0.4-0.7 mm	2.0-2.8 mm	940	-20	-175	Zayıf linyit batışan	100
0.4-0.7 mm	1.0-2.0 mm	850	-95	20	Zayıf linyit yüzüşen	350

Tablo 4-4 CO Yayınımının Linyit Tanecik Boyutu ile Değişimi

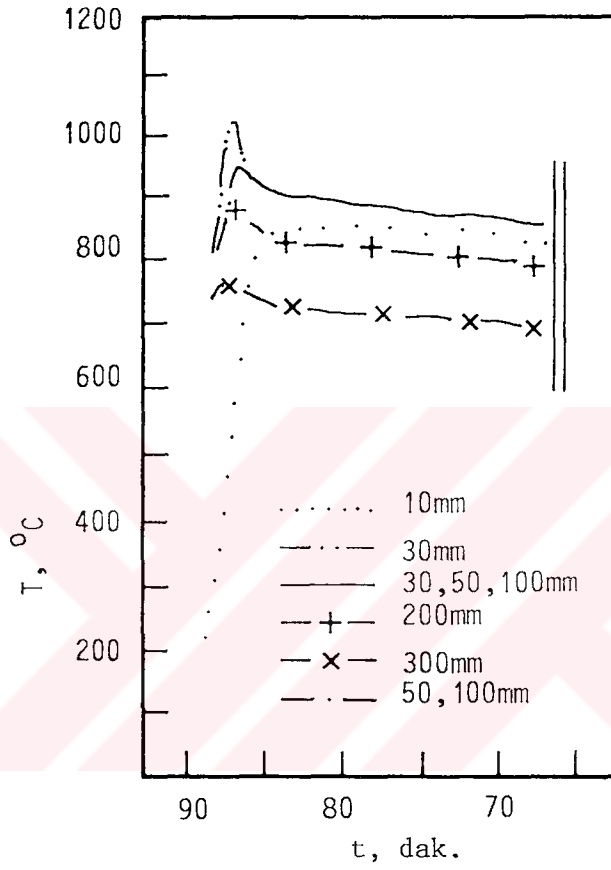
Şile kumu	Göynük Linyiti	CO yayını, (ppm)
0.4-0.7 mm	1-2 mm	1500
0.4-0.7 mm	2-2.8 mm	1350
0.4-0.7 mm	2.8-4 mm	1150
0.4-0.7 mm	4-5 mm	900

Diğer parametrelerin sabit tutulduğu ortamda, yatakta aglomerasyon sıcaklığını belirleyen en önemli etkenlerden birinin kömür tanecik boyutundaki değişimin olduğu anlaşılmaktadır. Aglomerasyonun ortaya çıkmasında, tanecik boyutu iki açıdan etkin rol oynamaktadır. Kömür tanecik boyutu arttırıldıkça, yataktaki ayrışma rejimi ne olursa olsun, aglomerasyon sıcaklığı, sinterleşme sıcaklığına bağlı olarak yükselmektedir. Bu durum, endüstriyel uygulamalarda kırma giderlerini düşürmek açısından önemlidir.

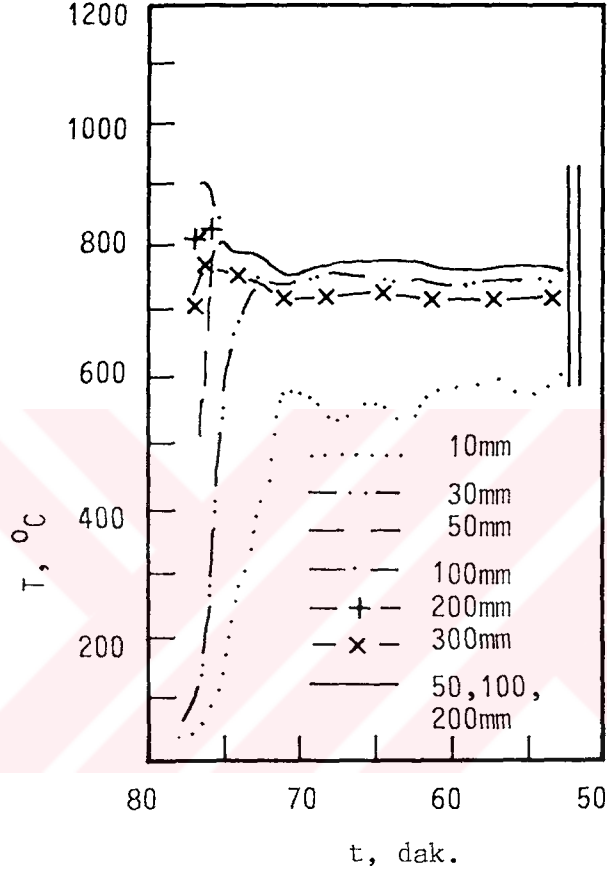
Buna karşılık linyitin tanecik boyutunun arttırılması ile, diğer parametrelerin sabit kaldığı koşullarda linyit batışan ayrışma eğilimi de arttırılmaktadır. Bu ise yatağın daha hızlı bir şekilde bağlamasına ortam hazırlamaktadır. Bununla beraber, tanecik büyüklüğü ile sinterleşme arasındaki etkileşme aglomerasyon olayının gelişmesini yönlendirebilmektedir.



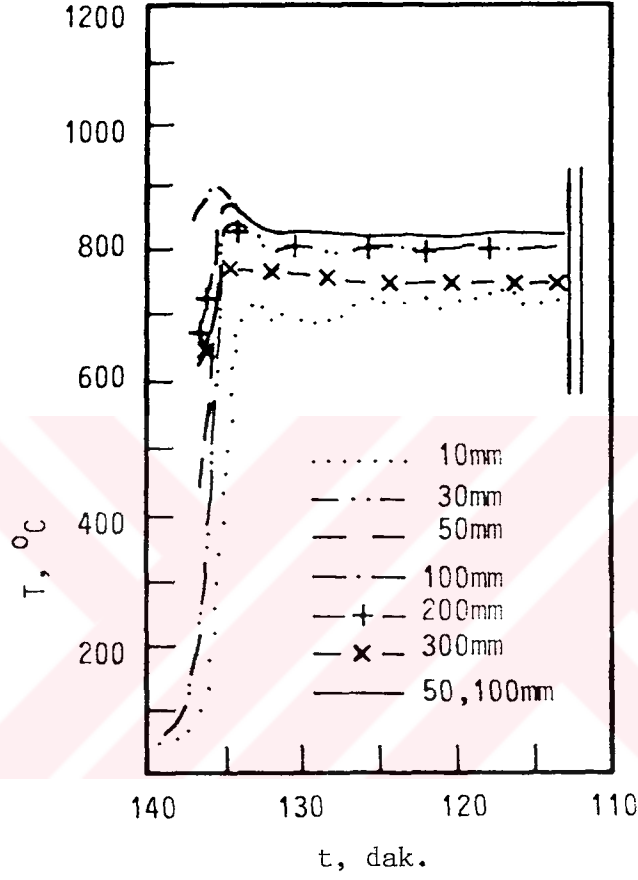
Şekil 4-15 Zayıf Linyit Batışan Zengin Sistemde Sıcaklık Dağılımı,
(Y.M.=Şile Kumu, $d_y=0.4-0.7\text{mm}$
 $d_k=2.0-2.8\text{mm}$ Göynük Linyiti,
 $H_D=100\text{mm}$, $H_S=70\text{mm}$, $H_B=100\text{mm}$,
 $F_k=28\text{g/dak.}$, $F_H=10\text{m}^3/\text{h}$, Y.D.=0.11m.)



Şekil 4-16 Orta Linyit Batışan Zengin Sistemde Sıcaklık Dağılımı,
(Y.M.=Şile Kumu, $d_y=0.4-0.7\text{mm}$
 $d_k=2.8-4.0\text{mm}$ Göynük Linyiti,
 $H_D=100\text{mm}$, $H_S=70\text{mm}$, $H_B=100\text{mm}$,
 $F_k=28\text{g/dak.}$, $F_H=10\text{m}^3/\text{h}$, Y.D.=0.11m.)



Şekil 4-17 Linyit Yüzüşen Zengin Sistemde Sıcaklık Dağılımı,
(Y.M.=Kuartz Kumu, $d_y=0.7-1.0\text{mm}$
 $d_k=1.0-2.0\text{mm}$ Göynük Linyiti,
 $H_D=150\text{mm}$, $H_S=100\text{mm}$, $H_B=200\text{mm}$,
 $F_k=110\text{g/dak.}$, $F_H=45\text{m}^3/\text{h}$, Y.D.=0.2m.)



Şekil 4-18 Orta Linyit Yüzüşen Zengin Sistemde Sıcaklık Dağılımı,
(Y.M.=Şile Kumu, $d_y=0.7-1.0\text{mm}$
 $d_k=4.0-5.0\text{mm}$ Göynük Linyiti,
 $H_D=150\text{mm}$, $H_S=100\text{mm}$, $H_B=200\text{mm}$,
 $F_k=110\text{g/dak.}$, $F_H=45\text{m}^3/\text{h}$, Y.D.=0.2m.)

4.3.1.2. Linyit Yüzüşen Zengin Ayırışma Sistemi

Linyit yüzüşen zengin ayırışma sisteminin aglomerasyon sürecindeki davranışını belirlemek amacı ile, 0.4-0.7 mm'lik Şile kumu ile 0.4-0.70 mm boyutlarındaki kuartz kumu taneciklerini içeren 0.20 m çapındaki akışkan yatakta, değişik boyutlara sahip, Göynük linyiti fraksiyonları yakılarak, yapılan deneyler sonucunda elde edilen aglomerasyon sıcaklıkları (T_{AG}), toplam aglomerasyon süresi ($\Delta t'_{AG}$), ΔT_{3A} , ΔT_{30A} değerleri ve ayırışma rejimleri Tablo 4-5, Şekil 4-14, Şekil 4-17 ve Şekil 4-18'de derlenmiştir. Linyit yüzüşen zengin tipi ayırışma eğilimi gösteren sistemlerde, linyit tanecik boyutundaki artışla birlikte, aglomerasyon sıcaklığı yükselmektedir. Bu davranım, linyit tanecik boyutunun artışı ile sinterleşme sıcaklığının yükselmesinin yanısıra, ayırışma eğiliminin de gittikçe zayıflamasından kaynaklanmaktadır. Olay, Basu [58], Basu ve Sarkai [59] ve Ekinci v.ç.a. [43] 'nın bulgularının ışığı altında değerlendirildiğinde, sinterleşme sıcaklığındaki yükselmenin daha belirleyici bir parametre olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Linyit tanecik boyutundaki azalma, ayırışma eğilimini arttırdığı için, yatağın daha kısa bir sürede bağlamasına neden olmaktadır. Bunun yanısıra, gerek aglomerasyonun başlaması ile birlikte yatak sıcaklıklarında kaydedilen artışlar ve gerekse, oluşan aglomere kütlelerin konumu, aglomerasyonun, linyit tanecik boyutunun küçülmesine paralel olarak yatağın daha üst bölgelerinde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Bunda, linyit taneciklerinin, uçucu maddelerin çıkışı ve yanması sırasında, yatağın üst bölgelerinde kalma eğilimi içinde olmalarının da katkısı vardır.

Linyit batışan zengin ayırışma sistemlerinde olduğu gibi, linyit yüzüşen sistemlerinde de, ΔT_{3A} ve ΔT_{30A} değerlerinin, yatak içi karışım etkinliğini ve yanmanın serbest bölgeye kayma eğilimini belirlemede kullanılabilecek uygun birer gösterge oldukları anlaşılmıştır. Buna göre, tanecik boyutundaki artış ile birlikte, ΔT_{3A} değeri, aglomerasyon anındaki karışma etkinliğinin bir yansıması olarak azalmıştır. Daha etkin bir karışmanın süre geldiği akışkan yataklarda, linyit taneciklerinin yatak içindeki penetrasyon derinliği artmakta ve böylece aktif yatak içinde açığa çıkan ısının serbest bölgeye yansıması, küçük tanecikleri içeren yataklar kıyasla, daha sınırlı kalmaktadır.

Tablo 4-5. Çeşitli Sistemler İçin Saptanmış Aglomerasyon Sıcaklıkları, ΔT_{3A} ve $\Delta T'_{AG}$ Değerleri

Yatak Malzemesi	Linyit	$T_{AG}, ^\circ C$	ΔT_{3A}	ΔT_{30A}	Ayrışma Tipi	$\Delta T'_{AG}$ dak.
Kuartz Kum	Göynük Linyiti					
0.7-1.0 mm	4.0-5.0 mm	880	60	130	Orta linyit yüzüşen	135
0.7-1.0 mm	2.8-4.0 mm	865	100	110	Orta linyit yüzüşen	-
0.7-1.0 mm	2.0-2.8 mm	840	120	100	Kuvvetli linyit yüzüşen	85
0.7-1.0 mm	1.0-2.0 mm	820	210	80	Kuvvetli linyit yüzüşen	70
0.4-0.7 mm	2.8-4.0 mm	940	10	180	Orta linyit batışan	110
0.4-0.7 mm	2.0-2.8 mm	900	30	150	Zayıf linyit batışan	90
0.4-0.7 mm	1.0-2.0 mm	880	40	120	Çok Zayıf linyit yüzüşen	95
Şile Kumu	Göynük Linyiti					
0.4-0.7 mm	2.0-2.8 mm	920	-40	120	Zayıf linyit batışan	
0.4-0.7 mm	1.0-2.0 mm	855	50	65	Zayıf linyit batışan	

Çünkü tanecik boyutu büyüdükçe, aktif yatağın üst bölgelerindeki kömür derişimi düştüşü gibi, serbest bölgeye sürüklenen kömür miktarı da gittikçe azalmaktadır.

4.3.2. Yatak Malzemesi Boyutunun ve Türünün Aglomerasyona Etkisi

4.3.2.1. Linyit Batışan Zengin Türü Ayırışma

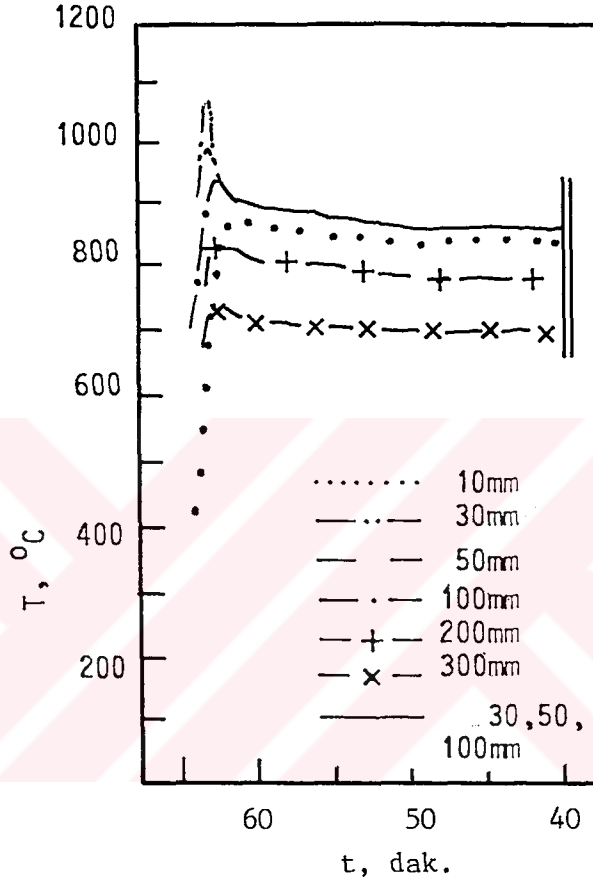
Yatak malzemesi tanecik boyutunun değiştirildiği ve bunun dışındaki tüm parametrelerin sabit tutulduğu deneylerde elde edilen aglomerasyon sıcaklıkları Tablo 4-3 ve şekil 4-13'de gösterilmiştir.

0.11 m çapındaki akışkan yatakta, 4-5 mm'lik Göynük linyiti ve 0.1-0.4 ile 0.4,0.7 mm tanecik boyutlarına sahip şile kumu fraksiyonları ile yürütölen bu deneylerde, yatak malzemesi tanecik boyutundaki azalma, aglomerasyon sıcaklığını 40°C kadar düşürmüştür. şekil 4-15 den, linyitin daha küçük yatak malzemesi ile oluşturduğu karışımında sinterleşme sıcaklığının, daha iri kum taneciklerinin oluşturduğu ortama kıyasla daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Sinterleşme sıcaklığının küçük tanecikler için daha düşük olması, aynı tanecikler için, aglomerasyon sıcaklığının da daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesine neden olmaktadır. Ancak, yatak malzemesi tanecik boyutundaki düşme, linyit batışan zengin ayırışma eğilimini arttıran bir etken olmaktadır. Bu durum, karışma etkenliğini düşürerek bazı bölgelerde sinterleşme eğilimini arttırdığı gibi, sıcaklığın aşırı derecede yükseldiği bölgelerin oluşmasına da ortam hazırladığı için, istenmeyen bir olaydır. Bütün bu olumsuz gelişmeler, sonuç olarak yatak bağlama sıcaklığını düşürmektedir. Yatak malzemesi boyutunun küçölmesi ile birlikte aglomerasyonun dağıtıcı elek yakınlarına kayması ve aglomerasyon süresinin kısılması söz konusu olmaktadır. 0.4-0.7 mm'lik şile kumu ile yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık dağılımları ve aglomerasyon parametrelerinin davranımından, 1-2 mm tanecik boyutuna sahip linyit tanecikleri ile gerçekleştirilen deneylerde, sistemin linyit yüzüşen zengin tipinde ayırışma gösterdiği anlaşılmıştır.

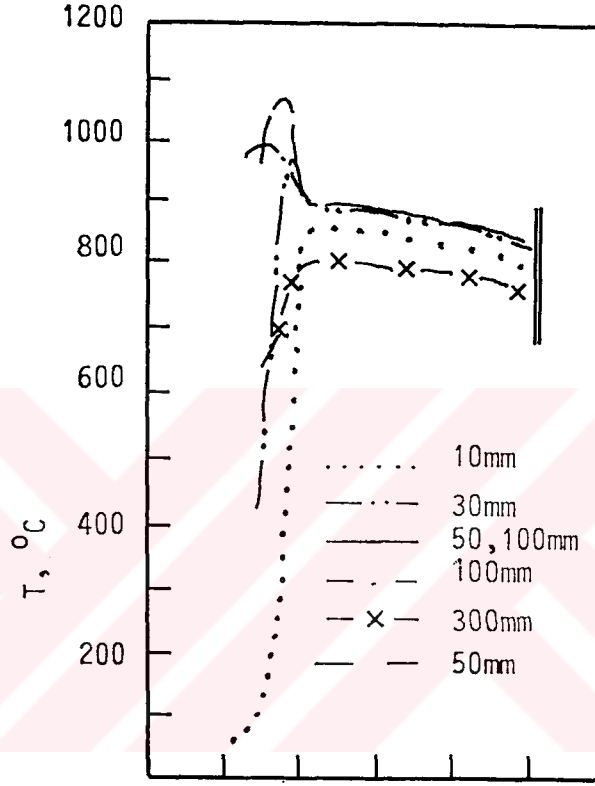
4.3.2.2. Linyit Yüzüşen Zengin Türü Ayrışma

Diğer taraftan, 0.4-0.7 mm'lik kuartz kumundan oluşmuş 0.20 m çapındaki akışkan yataklarda, Göynük linyiti yakılarak yapılan deneylerde, bir önceki bölümde sözü edilen ve Şile kumu ile elde edilen sonuçların tersine, yatak malzemesi tanecik boyutunun düşürülmesi ile, Atakül'ün [8] yaptığı çalışma da gözlemlendiği gibi, aglomerasyon sıcaklığı yükselmiştir. Kül yüzüşen zengin ayrışma özelliği gösteren bu sistemlerde, yatak malzemesi tanecik boyutundaki küçülme karışmayı şiddetlendirerek ayrışma eğilimini zayıflattığı için, ortam aglomerasyona karşı daha güvenli bir hale gelmektedir. Diğer taraftan, iri linyit tanecikleri ile birlikte daha küçük boyutlardaki yatak malzemesi taneciklerinin kullanılması durumunda, ilk sinterleşme sıcaklığı bir miktar düşse de sistemin davranımı pek değişmemektedir.

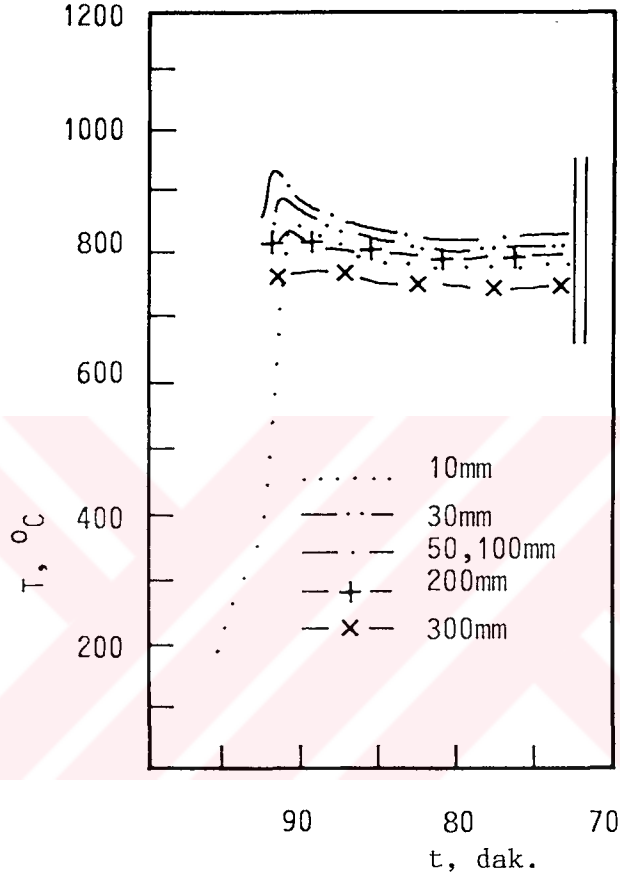
Linyit yüzüşen zengin sistemde, yatak malzemesi tanecik boyutunun küçülmesi ile, aglomerasyonun başladığı bölge yatağın üst kısımlarından aşağıya doğru kaymakta ve toplam aglomerasyon süresi uzamaktadır. Yatak malzemesi olarak kullanılan kuartz kumunun tanecik boyutu, 0.7-1.0 mm'den 0.4-0.7 mm'ye düşürüldüğü zaman, kullanılan en küçük linyit fraksiyonu (1-2 mm) için elde edilen karışımın, ayrışma rejimi olarak davranımı, 0.7-1.0 mm'lik kum fraksiyonundan oluşan rejimin davranımından çok farklı olmamaktadır. Ancak daha iri linyit taneciklerinin, kullanıldığı deneylerde daha iyi bir karışmanın gerçekleştiği ara durumlar görülmüştür. Aglomerasyon süresinde gözlenen belirtilerden hareket edilerek, bu durumu, kuvvetli linyit batışan ve yüzüşen rejimler arasında bir geçiş rejimi olarak nitelemek mümkündür.



Şekil 4-19 Şiddetli Linyit Batışan Zengin Sistemde Sıcaklık Dağılımı,
(Y.M.=Şile Kumu, $d_y=0.4-0.7\text{mm}$
 $d_k=4.0-5.0\text{mm}$ Göynük Linyiti,
 $H_D=100\text{mm}$, $H_S=70\text{mm}$, $H_B=100\text{mm}$,
 $F_k=28\text{g/dak.}$, $F_H=10\text{m}^3/\text{h}$, Y.D.=0.11m.)



Şekil 4-20 Orta Linyit Batışan Zengin Sistemde Sıcaklık Dağılımı,
(Y.M.=Kuartz Kumu, $d_y=0.4-0.7\text{mm}$
 $d_k=2.8-4.0\text{mm}$ Göynük Linyiti,
 $H_D=150\text{mm}$, $H_S=100\text{mm}$, $H_B=200\text{mm}$,
 $F_k=110\text{g/dak.}$, $F_H=45\text{m}^3/\text{h}$, Y.D.=0.2m.)



Şekil 4-21 Zayıf Linyit Batışan Zengin Sistemde Sıcaklık Dağılımı,
(Y.M.=Kuartz Kumu, $d_y=0.4-0.7\text{mm}$
 $d_k=2.0-2.8\text{mm}$ Göynük Linyiti,
 $H_D=150\text{mm}$, $H_S=100\text{mm}$, $H_B=200\text{mm}$,
 $F_k=110\text{g/dak.}$, $F_H=45\text{m}^3/\text{h}$, Y.D.=0.2m.)

4.3.3. Aglomerasyon Sürecinde ΔT - ΔP Değişimi

0.11 m çapında ve Şile kumundan oluşmuş yatakta, linyitin batışan bileşen olarak davrandığı karışımlara ait sıcaklık dağılımı ve basınç düşüşünün zamanla değişimi incelenmiştir. Şekil 4-22 ve Şekil 4-23'de Şile kumu içeren 0.11 m çapındaki yatakta, kuvvetli ve zayıf linyit batışan sistemlerin sıcaklık ve basınç davranımları verilmiştir.

Kül yüzüşen sistemlerde, yatak basınç düşüşü 0.01 m yüksekteki kesit sıcaklığına paralel bir şekilde düşme göstermiştir. Bu durum, saf batışan bileşenin (yatak malzemesinin) dağıtıcı elek üzerinde bir tabaka halinde birikmesinin tipik bir özelliğini yansıtmaktadır. Aglomerasyonun gerçekleştiği zaman aralığında, 0.01 m ve 0.03 m'deki ısı çiftlerinin kaydettiği sıcaklık davranımına benzer bir şekilde, basınç farkı da çok hızlı bir şekilde düşmüştür. Basınç düşüşündeki değişimi, yine benzer şekilde, ayrışma dinamiğinin bir belirtisi olan ΔT_{30} değerinden de izlemek mümkün olmaktadır.

Benzer sonuçlar, genellikle linyit yüzüşen zengin sistemleri inceleyen Atakül [8], Ekinci v.ç.a. [43] ile Atakül ve Ekinci [87], tarafından da gözlenmiştir.

Linyit batışan karışımlara özgü ayrışma özelliği gösteren sistemlerin aglomerasyonu süreçlerinde, basınç kaybı ayrışmanın ilerleyişine paralel olarak düşmüştür. Aglomerasyon gerçekleştiği anda bu düşüş, yine sıcaklıklardaki düşüşe paralel olarak, çok hızlı bir şekilde son bir değere düşmüş ve orada sabit kalmıştır. Ancak, batışan zengin tipteki sistemlerde yalnızca bir bileşeni içeren bir tabaka ayrışması gerçekleşmediği için, linyit yüzüşen sistemlerde olduğu gibi basınç düşüşü ile paralel şekilde düşen bir sıcaklık davranımı gözlenmemiştir. Bu durumda, sıcaklık profilleri, tek bir gösterge olarak, kül batışan sistemlerde kontrol açısından bir değer ifade etmemektedir. Kontrol mekanizmasının sıcaklık ölçümlerinden yararlanarak gerçekleştirilmek istenmesi durumunda, ayrışma eğilimini yansıtmaması açısından, güvenilir olduğu kanıtlanan ΔT_3 diferansiyel sıcaklık değerleri kullanılabilir.

Her iki ayrışma sistemi için de, elde edilen basınç düşüşü grafikleri izlenerek, yatak içerisinde ayrışma eğilimi ve gelişmesi bir bütün olarak değerlendirilmektedir. Ancak aglomerasyonun gerçekleşmesi için geçen süre ve başladığı konum, ayrışma tipine göre değişebileceği gibi, yatağın değişik noktalarından alınan sıcaklık değerleri daha anlamlı olmaktadır.

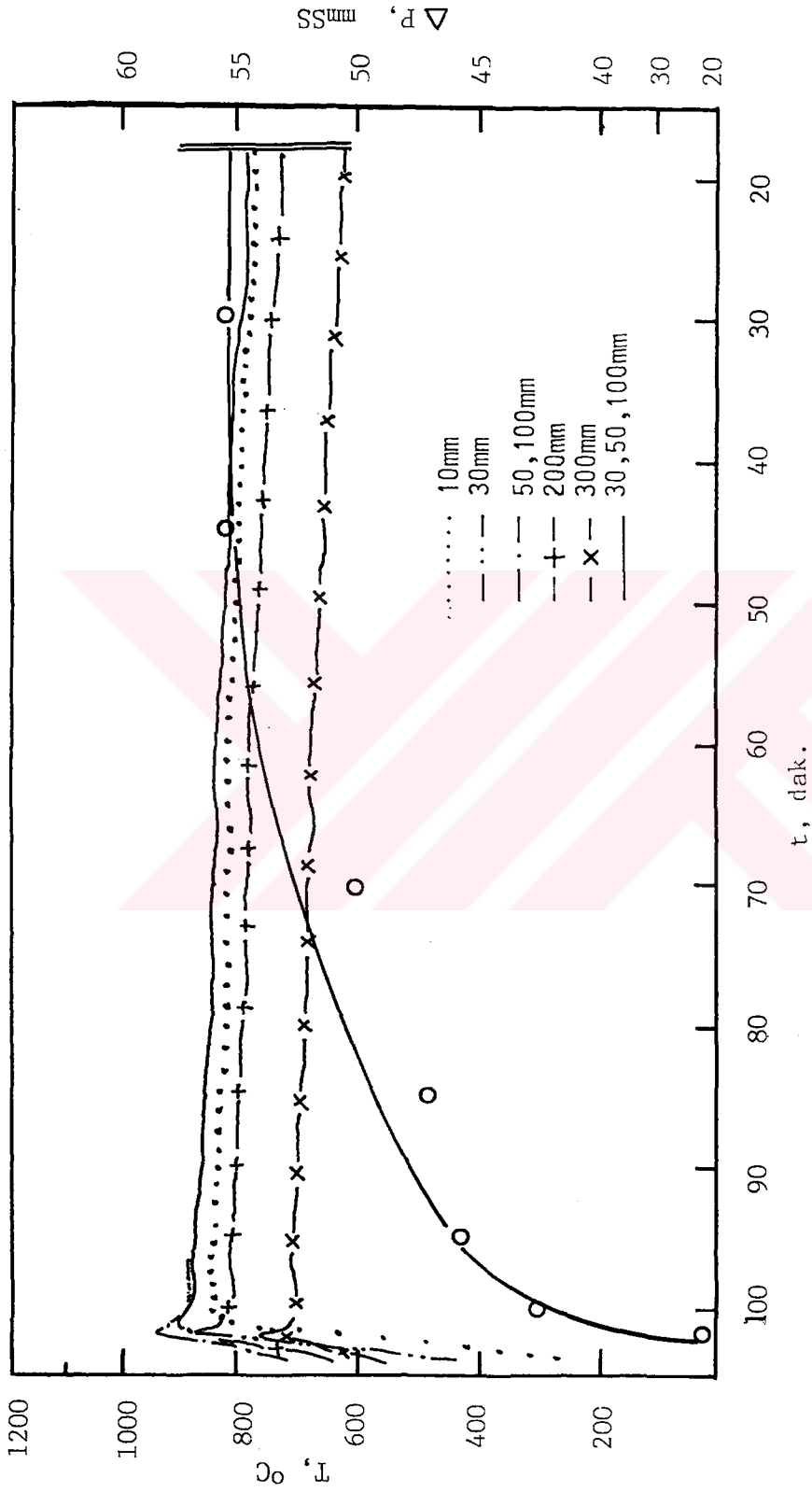
4.3.4. Ayrışma Rejimi Aglomerasyon İlişkisi

Akışkan yataklarda görülen aglomerasyon olayı, yapışkan taneciklerin yüzey alanlarını, dolayısıyla yüzey enerjilerini küçültme eğilimi içine girip sinterleşmesi ve bunun sonucunda yatakta akışkanlaşmanın tümü ile son bulması olayıdır. Yapışma için koşulların olduğu sistemlerde, yapışmayı arttırıcı veya azaltıcı yönde etki edebilecek parametrelerden, linyit tanecik boyutu, yatak malzemesi tanecik boyutu ve türü yatak yüksekliği/yatak çapı (H/D) oranı daha önceki bölümlerde irdelenmiştir. Bunun yanısıra, linyit türü ile akışkanlaştırıcı hava hızının olayı etkileyen önemli parametreler olduğu bilinmektedir.

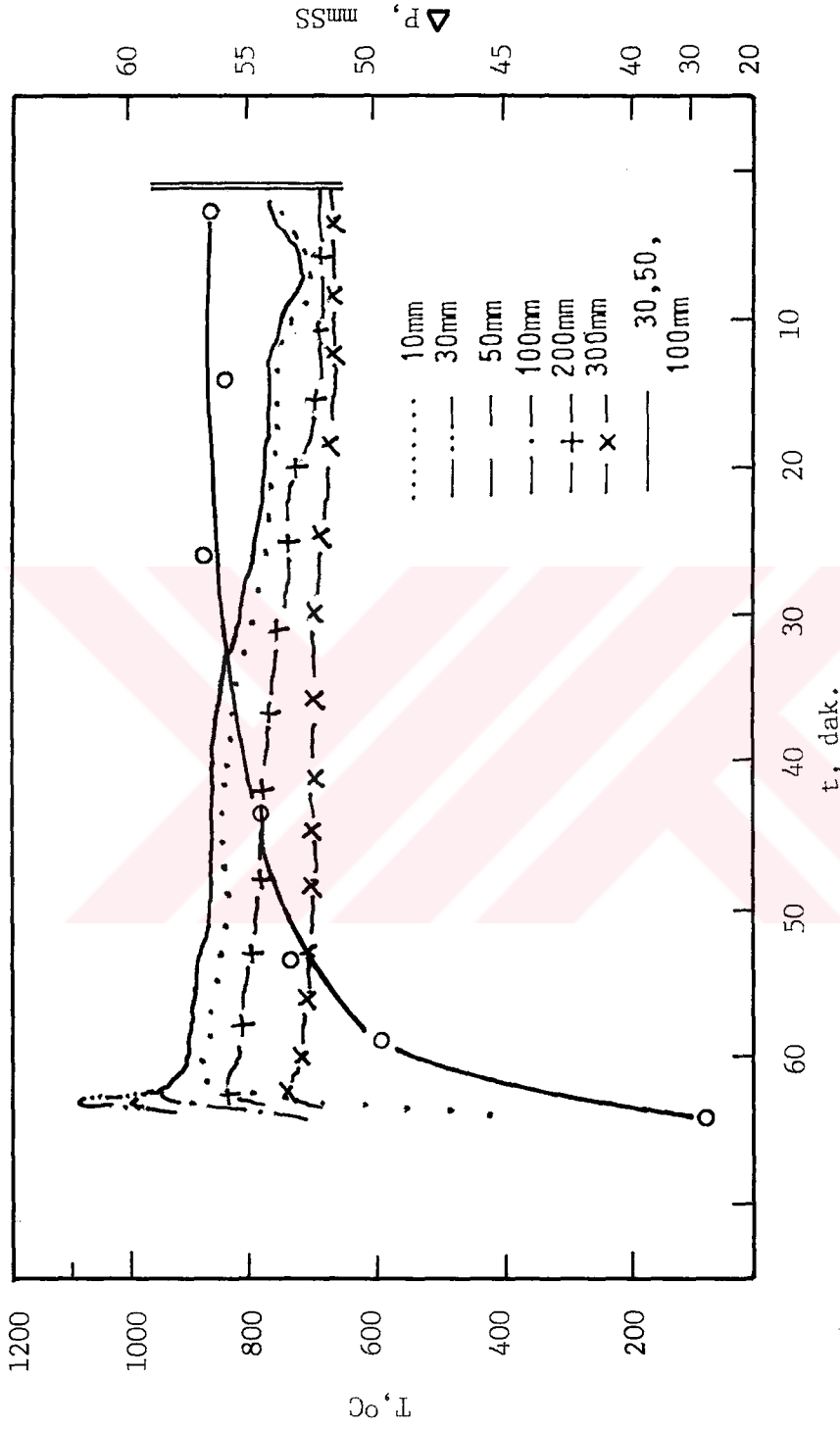
4.3.4.1. Linyit Yüzüşen Zengin Tipi Ayrışma

Göynük linyiti yakılarak gerçekleştirilen bu çalışma sırasında, linyit yüzüşen zengin sistem koşullarında aglomerasyon yaklaşırken Atakül'ün [8] de belirttiği gibi, son aşamada, yatağın alt kısımlarında tamamen batışan tanecikler içeren bir tabakanın oluşması nedeni ile hızlı bir soğumanın meydana geldiği gözlenmiştir. Soğuma hızındaki artış, aglomerasyona yakınlığın bir ifadesi olmuştur. Atakül [8], belirtilerden hareket edilerek, bu durumu, kuvvetli linyit batışan ve yüzüşen rejimler arasında bir geçiş rejimi olarak nitelemek mümkündür.

Linyit yüzüşen zengin sistemlerde ise yanma daha çok yatağın üst kesitlerine ve serbest bölgeye kaydığından, aktif yatakta sıcaklık görece daha yavaş bir hızla yükselmekte, dolayısıyla sinterleşme sıcaklığına daha uzun bir süre zarfında ulaşılabilir. Aglomerasyona doğru gidilen koşullarda, sıcaklık dağılımının incelendiği bölümlerde belirtildiği gibi, batışan zengin tipi ayrışmaya özgü uyarılar gelmektedir. Örneğin yatak malzemesi tanecik boyutu düşürüldüğü veya linyit tanecik boyutu arttırıldığı zaman, ayrışma eğilimi artmaktadır. Ancak aglomerasyonun gerçekleştiği anlarda sıcaklıkta, ayrışma tipini karakterize eden, bir sıçrama görülmektedir. Yüzüşen zengin sistemlerin aksine, bu sistem koşullarında yatağın alt kesimine yerleştirilen ısı-çiftlerin kaydettiği sıcaklıklarda ani ve hızlı bir yükselme görülmemiştir. Dağıtıcı elekten itibaren 0.03 m yükseklikteki sıcaklık ile 0.01 m'deki yatak sıcaklığı arasındaki fark (ΔT_{30A}), batışan zengin türü sistemlerinde ayrışmanın derecesini, yaklaşık olarak veren, bir parametre olarak değerlendirilmiştir. 0.4-0.7 mm tanecik boyutundaki Şile kumu ile 0.11 m çapındaki akışkan yatakta yapılan deneylerde ΔT_{30A} değerleri linyit tanecik boyutu büyüdükçe artmıştır. Bu sonuç, aglomerasyona yaklaşıldığı sıralarda gözlenen sıcaklık dağılımı ve bunun yatakta meydana gelen ayrışma ile ilgisi konusunda yapılan değerlendirmeleri doğrulamaktadır. Batışan zengin tipindeki karışımlar, batışan tanecikler bakımından zenginleştikçe, aglomerasyon süresi kısalmakta ve aglomerasyon başladıktan sonra, sistemi normal seyrine döndürmek daha da zorlaşmıştır. Yatakta, akışkanlaşma kalitesini yükseltmek amacıyla, alınan önlemler, ancak aglomerasyon aşamasına ulaşılmadığı koşullarda, sıcaklık dağılımını olumlu yönde etkileyebilmektedir.



Şekil 4-22 Zayıf Linyit Batışan Zengin Sistemde Aglomerasyona Bağlı Yatak Basınç Düşüşü ($\Delta P, \text{mmSS}$) ve Sıcaklık Değişimi İlişkisi, (Y.M.=Şile Kumu, $d_v=0.4-0.7\text{mm}$ $d_k=2.0-2.8\text{mm}$ Göynük Linyiti, $H_D=100\text{mm}$, $H_S=70\text{mm}$, $H_B=100\text{mm}$, $F_k=28\text{g/dak.}$, $F_H=10\text{m}^3/\text{h}$, $Y.D.=0.11\text{m.}$)



Şekil 4-23 Şiddetli Linyit Batışan Zengin Sistemde Aglomerasyona Bağlı Yatak Basınç Düşüşü ($\Delta P, \text{mmSS}$) ve Sıcaklık Değişimi İlişkisi, (Y.M.=Şile Kumu, $d_y=0.4-0.7\text{mm}$ $d_k=4.0-5.0\text{mm}$ Göynük Linyiti, $H_D=100\text{mm}$, $H_S=70\text{mm}$, $H_B=100\text{mm}$, $F_k=28\text{g/dak}$, $F_H=10\text{m}^3/\text{h}$, $Y.D.=0.11\text{m}$.)

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

1) Linyitlerin, tamamen yatak malzemesinden oluşan bir akışkan yatakta yakılması durumunda, sistem başlangıçta çoğunlukla 2b tipi ayrışma özelliği gösterir. Zaman içerisinde ikili sistemin yoğunluk ve/veya çap oranlarının ve akışkanlaşma hızının belirlediği dinamik bir dengeye ulaşır. Süreç içerisinde yatağın herhangi bir noktasında sinterleşme sıcaklığına ulaşılmış ise denge durumuna ulaşma söz konusu değildir.

2) Bu çalışmanın yapıldığı yatak malzemesi yoğunluk ve boyut sınırları içerisinde şiddetli linyit batışan zengin (4-5 mm linyit 0.1-0.4 mm Şile kumu), şiddetli linyit yüzüşen (0.7-1.0 mm kuartz kumu ve 1-2 mm linyit) ve denge başlangıcında linyit batışan zengin, sonunda ise linyit yüzüşen zengin tipi ayrışma eğilimleri gözlenmiştir. (0.4-0.7 mm Şile kumu, 1-2 mm linyit).

3) Akışkan yatak sıcaklık profillerinden, ortalama yatak sıcaklığını veren 0.1 mm seviyesindeki sıcaklık ile dağıtıcı elekten 0.03 m ve 0.3 m yükseklikteki kesit sıcaklıkları arasında, ΔT_3 ve ΔT_{30} diferansiyel değerlerinin, ayrışma rejiminin birer göstergesi olarak ortaya çıkmıştır. Linyit yüzüşen zengin karışım koşullarından ΔT_3 artış gösterirken ΔT_{30} azalmaktadır. Kül batışan sistemlerde ise ayrışma eğilimi arttıkça ΔT_3 azalırken ΔT_{30} artmaktadır. Bu, linyit batışan sistemlerde ayrışma eğilimi arttıkça yatağın alt kısımlarında yanan linyitin konsantrasyonunun yükselmesi sonucu dağıtıcı eleğe yakın bölgelerde sıcaklıkların artması, buna karşılık serbest bölgede sıcaklığın düşmesidir.

4) Sıcaklık profillerinden linyit batışan sistemler için saf bir komponentten oluşan tabaka ayrışması gözlenmemektedir. Linyit yüzüşen zengin sistemler için ise sadece batışan komponentten oluşan bir

tabakanın oluşumu, dağıtıcı elek yakınlarında ileri ayrışma durumlarında hızlı ve sürekli bir sıcaklık düşmesi şeklinde gözlenmiştir.

5) Diferansiyel sıcaklık ölçümlerinden, linyit tanecik boyutu arttıkça linyit batışan zengin ayrışma şiddetinin arttığı anlaşılmıştır. Linyit yüzüşen zengin sistemlerinde ise tanecik boyutundaki artışla ayrışma eğilimi azalmıştır. Yoğunluk farkının çok yüksek olmadığı, bu çalışmada, linyit tanecik boyutu değişimi ayrışma rejimini belirleyen parametre olmaktadır.

6) Yatak malzemesi türü akışkan yatakta ayrışmayı, esas olarak, yatak malzemesi yoğunluklarının linyite olan oranı ile etkilemektedir. Bu çalışmada kuartz kumu seçilen linyit tanecik boyutunda ve Şile kumu 1-2 mm boyutunda linyit yüzüşen ayrışan tipte sistemi belirlemiş daha yüksek kömür tanecik boyutlarında linyit batışan tipte ayrışma rejimi elde edilmiştir. Ayrışma sisteminde yoğunluk merteye olarak yakın olduğu için etkin olmamıştır.

7) Göynük linyitinin yakıldığı akışkan yataklı sistemlerde L/D oranının dinamik ve statik yatak yüksekliklerinin (H_D, H_S) değiştirilmesi durumunda, ayrışma rejimlerini yataktan taşınan yatak malzemesi oranı belirlemektedir. Dinamik yatak yüksekliğindeki artış genel olarak daha tek düze sıcaklık dağılımları ile sonuçlanmaktadır.

8) L/D oranının yatak çapındaki değişme ile gerçekleştirildiği deneylerde yatak çapının sıcaklık dağılımına olan etkisi ayrışma tipinin etkisine kıyasla önemli olmadığı anlaşılmıştır. Aynı şekilde, besleme noktasının konumunun serbest bölge sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisi de ayrışma rejimine kıyaslandığında, pek önemli olmadığı anlaşılmıştır.

9) Hava hızındaki değişme, tanımlanan her iki ayrışma rejiminde de hem sıcaklık dağılımını hem de ısı dengesini etkilemektedir.

10) Linyit batışan sistemlerde, yüksek uçucu madde içeren yakıtlar için ileri sürülen uçucu madde yanmasının bitmesine kadar linyit taneciklerinin yatak yüzeyine yakın kesimlerde yoğunlaşma eğiliminin etkin olmadığı anlaşılmıştır.

11) Büyük çaptaki akışkan yatakları yanma rejimine emniyetli bir şekilde alabilmek amacı ile otomatik kontrollu iki aşamalı bir LPG yakılan ısıtma sistemi geliştirilmiştir.

12) Aglomerasyon süresi $\Delta t'_{AG}$ her iki ayrışma sisteminde de ayrışma şiddetindeki artışa ters olarak azalmıştır. Süreç içerisinde aglomerasyon süresini belirlemede en etkin parametre ayrışma rejimi olmuştur. Linyit batışan sistemin daha etkin olduğu anlaşılmıştır. Aglomerasyon sıcaklığının belirlenmesinde ise etkin parametre linyit ve yatak malzemesi tanecik boyutlarıdır.

13) Linyit ve yatak malzemesi tanecik boyutu, yatak malzemesi yoğunluğu ve akışkanlaşma hava hızı gibi operasyon parametrelerindeki değişimler ayrışmada oluşan etkileşimler nedeniyle aglomerasyonu etkiler. Linyit batışan sistemlerde, linyit tanecik boyutundaki artış, yatak malzemesi tanecik boyutu ve hava hızındaki artış aglomerasyon sıcaklığını arttırmaktadır. Bununla beraber linyit yüzüşen sistemlerde linyit ve yatak malzemesinin tanecik boyutu, yatak malzemesinin yoğunluğu ve akışkanlaştırma havası hızındaki artış aglomerasyon sıcaklığını arttırmaktadır.

14) Aglomerasyon anında kömürün yatak için konsantrasyonunu açığa çıkardığı ısıнын yansıması olan sıcaklık dağılımlarından anlamak mümkündür. Bu nedenle ölçülen ΔT_{3A} , ΔT_{30A} sıcaklık değerleri aglomerasyona yol açan ayrışma tipini ve şiddetini belirlemektedir. Linyit batışan sistemlerde tanecik boyutundaki artışla ΔT_{3A} artarken ΔT_{30A} ters yönde artmıştır. Bu doğrultuda linyit batışan sistemin şiddetide artmıştır. Linyit yüzüşen sistemlerde ise tanecik boyutu arttıkça ΔT_{3A} azalırken ΔT_{30A} artmıştır.

15) Yatak malzemesi türünün değiştirilmesi tanecik boyutunun sabit olması durumunda ayrışma eğilimini arttırırsa da aglomerasyon süresini her iki ayrışma rejiminde de kısaltmaktadır.

16) Linyit yüzüşen zengin sistemlerde ayrışma eğilimi arttıkça aglomerasyon başlama noktası yatağın üst kısımlarına doğru kaymaktadır. Yatak içerisinde aglomerasyon dışında kalan saf bir batışan zengin tabakası oluşmaktadır. Kül yüzüşen zengin sistemlerinde aglomerasyon öncesi ayrışma şiddeti arttıkça yatağın aglomerasyonunun başlama noktası yatağın üst kısımlarına doğru kaymış ve yatağın alt kısmında serbest ve oldukça saf yatak malzeme kütlesi gözlenmiştir. Linyit batışan zengin sistemlerde ise ayrışma sistemi şiddeti arttıkça paralel bir şekilde aglomerasyon başlama noktası yatağın derinliklerine kaymış ve aglomere kütlede serbest bir tabaka gözlenmemiştir.



BÖLÜM 6. ÖNERİLER

1- Endüstriyel ölçekli akışkan yataklı yakma sistemlerinin tasarımına yardımcı olmak üzere ayrışma ve aglomerasyon çalışmaları birçok etkenin incelenmesini sağlayacak pilot ölçekli akışkan yataklarda denenmelidir. Gerek yanma gerekse akışkanlaşma olaylarının daha iyi incelenebileceği daha büyük boyutlu, örneğin 0.40×0.40 m² kesit alanlı bir pilot akışkan yataklı yakıcıda bu çalışmada bahsi geçen konular incelenebilir.

2- Özellikle kül sinterleşme sıcaklıkları düşük, farklı kül tanecik yapısına sahip linyitler yanma, ayrışma ve aglomerasyon özellikleri açısından araştırılmalıdır.

3- Akışkan yataklarda ayrışma ve karışma daha çok düşük sıcaklıklarda incelenmiştir. Karışma ve ayrışma dinamiğinin ve matematiksel modelinin çıkartılabileceği kül/yatak malzemesi sistemlerinde yoğunluk ve şekil faktörüne bağlı gerek düşük gerekse yüksek sıcaklıklarda çalışmalar yapılmalıdır.

4- Endüstriyel ölçekli akışkan yataklarda yatak içerisinde ısı aktarım yüzeyleri olacağından, bu çalışmada üzerinde durulan konular ısı aktarım yüzeyleri bulunan pilot ölçekli yataklarda incelenmelidir. Akışkan yatak içerisindeki ısı aktarım yüzeylerinde sıcak kül taneciklerinin soğuk ortamla karşılaşması sonucu sinterleşmeleri ve aglomere olmalarının mekanizması böylece incelenmiş olacaktır.

5- Akışkan yataklı linyit yakma sistemlerinde hava kirliliğini kontrol amacıyla SO₂ tutulması için kullanılacak olan kireç taşı veya dolomit gibi malzemelerin yatak malzemesi veya linyit besleme debisine oranının ayrışma ve aglomerasyonuna etkisi incelenmelidir. Kireç taşı ve dolamitin yatak içerisindeki külün sinterleşme özelliklerini nasıl etkilediği de araştırılmalıdır.

6- Daha büyük tanecik çapına sahip linyitlerin kullanılması linyit kırma giderlerini azaltacağından bu çalışmada kullanılan linyit tanecik boyutlarından daha büyük taneciklerle çalışarak ayrışma ve aglomerasyon özellikleri incelenmelidir.

7- Endüstriyel açıdan uzun süre devam eden yanmalar önemli olduğundan yanma ve akışkanlaşma çalışmalarının ayrışma ve aglomerasyon oluşmadan devam etmesini sağlayacak denemeler yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

- [1] GÖKTEPE, B.G., MENTEŞOĞLU, S., ADALIOĞLU, U., Türkiye için Enerji Senaryoları, 2. Ulusal Nükleer Bilimler Kongresi, İstanbul, (1984).
- [2] ARIOĞLU, E., YÜKSEL, A., Türkiye Madenciliğinin Sorunları ve Çözüm Önerileri, Birsan Kitapevi, İstanbul, (1984).
- [3] EKİNCİ, E., ATAKÜL, H., ÖNER, T., TOLAY, M., Enerji Girdisi Olarak Türk Linyitlerinin Çevre Kirlileme Özellikleri, Hava Kirliliği Sempozyumu, MMO, İstanbul, (1985).
- [4] ATAKÜL, H., ESKİKAYA, T., EKİNCİ, E., Kent Planlamasında Enerji Politikaları ve Katı Yakıtlar, Kent Planlamasında Enerji Politikaları, İstanbul, (1991).
- [5] LEE, M.L., NOVOTNY, M., BARTLE, K.D., Gas Chromatography /Mass Spectrometric and NMR Determination of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in Airborne Particulates, Analytical Chemistry, 48:11, 1566,(1976).
- [6] GUERIN, M.R., Polycyclic Hydrocarbons and Cancer, Ed.by Gelborin, H.V. et.al., p.o.p. Vol.1., p.3, New York, (1978).
- [7] LEMPEREUEUR, J.D., Les Pluies Trount Variement a L'aigre, Science et Vie, Vol.7778, Juin, (1982).
- [8] ATAKÜL, H., Çan Bölgesi Linyitlerinin Akışkan Yatakta Yanma Sürecindeki Davranımı, Doktora tezi, İTÜ, (1986).

- [9] ZABRADOSKY, S.S., Hydrodynamics and Heat Transfer in Fluidised Beds, M.I.T. Press, (1966).
- [10] KUNII, D., LEVENSPIEL, O., Fluidization Engineering, New York, R.E. Krieger Publishing Company, (1977).
- [11] BOTTERILL, J.S.M., Fluid-Bed Heat Transfer, London Academic Press, (1975).
- [12] DAVIDSON, J.R., HARRISON, D., Fluidization, London, Academic Press, (1971).
- [13] GELDART, D. (Ed.) Gas Fluidization Technology, John Wiley & Sons, New York, (1986).
- [14] CHEREMISINOFF, N.P., CHEREMISINOFF, P.N., Hydrodynamics of Gas Solid Fluidization, London, Gulf Pub. Comp. Book Division, (1984).
- [15] HOWARD, J.R. Fluidised Bed Combustion and Applications, London, Applied Science Publishers, (1983).
- [16] FITZGERALD, J., Fundamentals of Fluidised Bed Hydrodynamics As Applied to FBC System Design, Proceedings: DOE/WY Conference on Fluidized Bed Combustion Design and Operation, West Virginia, October 27-29, (1980).
- [17] AVEDESIAN, M.M., DAVIDSON, J.F., Combustion of Carbon Particles in a Fluidised Bed, Trans. Instn. Chem. Engrs. 51, 121-131, (1973).
- [18] DAVIDSON, J.F. KEAIRNS, O.L., Fluidization, Cambridge University Press, (1978).
- [19] BEER, J.M., MASSIMILLA, L., SAROFIM, A.F., Fluidised Bed Combustion: The Effect of Coal Type on Load of Carbon Elutriation, Fluidised Combustion: System and Application, IV-5, London, November, (1980).

- [20] CHAKRABORTY,R.K., HOWARD,J.R., Burning Rates and Temperature of Carbon Particles in a Shallow Fluidised-Bed Combustor, Journal of the Institute of Fuel, 51, Dec., 220-224, (1978).
- [21] OTHMER,D.F., Fluidization, Reinhold Publishing Corp., (1958).
- [22] DAVIDSON,J.F., Fluidised Combustion: a Review of Papers on Fundamentals and New Ideas, Journal of Institute of Energy, pp. 178-186, (1989).
- [23] SKINNER,D.G., The Fluidised Combustion of Coal, Research and Development Dept. (CPC), UK National Coal Board, (1970).
- [24] WATERS,P., Factors Influencing the Fluidized Combustion of Low-Grade Solid and Liquid Fuels, Institute of Fuel, Symp.Ser. No.1: Fluidised Combustion Paper. C3, London, (1976).
- [25] HOWARD,J.R., Fluidised Bed Technology Principles and Applications, Adam Hilger, Bristol, (1989).
- [26] MOSS,G., The Mechanisims of Sulphur Absorption in Fluidised beds of Lime, Institute of Fuel, Symp.Ser. No.1: Fluidised Combustion Paper. O2, London, (1975).
- [27] BEER,J.M., Advanced Combustion Methods for Low Grade Coal Utilization, VII Symp. on Low-Grade Fuels, Pub. by Tech. Res. centre, Vol 1(7) pp.83-112, Finland, (1989).
- [28] YATES, J.G., Fundamentals of Fluidised-bed Chemical Processes, Butterworths, London, (1983).
- [29] EKİNCİ,E., TOLAY,M., ATAKÜL,H., KADIOĞLU,E., Combustion of a High Sulphur Solid Fuel in a Fluidised Bed Combustor, Archivum Combustions, Vol.15, No.2, 161, (1985).

- [30] EKİNCİ,E., Akışkan Yatakta Avgamasya Asfaltitinin Yakılması, Doçentlik Tezi, İ.T.Ü., İstanbul, Mart, (1981)..
- [31] EKİNCİ,E., TOLAY,M., KADIOĞLU,E., Akışkan Yatakta Uçucu Madde Davranımı, Birinci Yanma Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Temmuz, (1983).
- [32] YARDIM,M.F., Linyit Yakan Değişik Dağıtıcı Elekli Akışkan Yataklarda Ayrışma ve Aglomerasyon, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Mart (1992).
- [33] STUBINGTON,J.F., The Role of Coal Volatiles in Fluidised Bed Combustion, Journal of the Institute of Energy, 191-195, Dec. (1980).
- [34] PILLAI,K.K., A Schematic of Coal Devolatilization in Fluidised Bed Combustors, Journal of the Institute Energy, 55, 132- 33, Sept. (1982).
- [35] PARK,D., LEVENSPIEL,O., FITZGERALD,T.J., A Comparison of the Plume Model with Currently Used Models for Atmospheric Fluidised Bed Combustion, Chem.Eng.Science, 35, 295-301, (1980).
- [36] YALKIN,G., Akışkan Yatakta Yanma Sonucu Uçucu Madde Davranımı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul, (1985).
- [37] GIBSON,J., Combustion of Low Calorific Value in Fluidised Beds, 10th World Mining Congress, İstanbul, 15-22 Sept. (1979).
- [38] MARTENS,F.J.A., Freeboard Phenomena in Fluidised Bed Coal Combustor, Ph.D. Thesis, Delft, Holland, (1984).
- [39] ATAKÜL,H., TOLAY,M., EKİNCİ,E., TEOMAN,Y., Akışkan Yatak Yakıcılarında Kimyasal Ortam Olarak Serbest Bölge,5.Ulusal Isı Bilimi ve tekniği Kongresi, 18-20 Eylül (1985).

- [40] HORIO,M., WEN,C.Y., Analysis of Fluidised Bed Combustion of Coal with Limestone Injection, AIChE Symp.Ser. 74, 176, 120-126, (1978).
- [41] GELDART,D.M., BAYENS,J., POPE.J.D., VAN DE WIJER,P., Segregation in Beds of Large Particles at High Velocities, Powder Technology, 30, (1981).
- [42] NIENOW,A.W., CHIBA,T., Fluidization of Dissimilar Materials, Fluidization, 2nd Edition, Ed. by D.Harrison, J.F.Davidson and R.Clift, Academic Press, (1984).
- [43] EKINCI,E., YARDIM,F., ATAKÜL,H., Temperature Profiles in a Lignite Floatsam-Rich Fluidised Bed, Fuel, 67(2), pp 191-197, (1991).
- [44] PILLAI,K.K., Devolatilization and Combustion of Large Coal Particles in a Fluidised Bed, Journal of the Institute of Energy, March, 3-7, (1985).
- [45] WHALLEY,B.J.P., DYKSTRA,A., A Bench-Scale Fluidised Bed Facility for Form Coke Research, Proceedings, Institute for Briquetting and Agglomeration, 13, 227-236, (1973).
- [46] ROWE,P.N., NIENOW,A.W., Particle Mixing and Segregation in Gas Fluidised Beds. A Review, Powder Technology, 15, 141-147, (1976).
- [47] NIENOW,A.W., ROWE,P.N., CHIBA,T., Mixing and Segregation of a Small Proportion of Larger Particles in a Gas Fluidised Beds of Considerably Smaller Ones, AIChE Symp.Series., 74, 176, 74, (1978).
- [48] ROWE,P.N., NIENOW,A.W., AGNIM,A.J., Mechanism by which Particles Segregate in Gas Fluidised Beds, Binary Systems of Near Spherical Particles, Trans.Instn.Chem.Engrs. 50, (4), 310, (1972).

- [49] CHIBA,S., NIENOW,A.W., CHIBA,T., KOBAYASHI,H.,
Fluidised Binary Mixtures in which the Denser
Component May Be Floatsam, Powder Technology,
26, 1-10, (1980).
- [50] CHIBA,S., CHIBA,T., NIENOW,A.W., KOBAYASHI,H.,
Minimum Fluidization Velocity, Bed Expansion and
Pressure Drop Profile of Binary Particle Mixtures,
Powder Technology, 22, 255-269, (1979).
- [51] NIENOW,A.W., ROWE,P.N., Fluidised Bed Mixing and
Segregation in Solid Refuse Treatment, Proc. 1st
Int.Symp. on Materials and Energy from Refuse, 131,
Antwerp, (1976).
- [52] CHEN,J.L.P., KEAIRNS,D.L., Particle Segregation in a Fluidised
Bed, The Canadian Journal of Chemical Eng., 53,
August. 595-602, (1975).
- [53] ABBI,Y.P., BANERJI,M., GHOSH,M.K., MALLIAH,K.T.U.,
SHARON,H.N., Development of Fluidised
Combustion Boilers for Indian Coals, AIChE,
Symp.Series., 74, 176, 162-169, (1978).
- [54] KOLODNEY,M., YERUSHALMI,Y.J., SQUIRES,A.M.,
HARVEY,R.D., Behaviour of Mineral Matter in a
Fluidised Bed Gasifying Coal, The Ignifuid Process,
Trans.Brit.Ceram.Soc., 75, 85, (1976).
- [55] SAXENA,S.C., RAHMET,A., A Mechanistic Model to Explain
Ash Agglomeration in Fluidised Bed, The 5th
International Conf. on Fluidised Bed Combustion, V3,
475-486, Dec.(1978).
- [56] GLUCKMAN,M.J., YERUSHALMI,J., SQUIRES,A.M.,
Defluidization Characteristics of Sticky Materials on
Agglomerating Beds, Fluidization Technology, Ed.by
D.L:Kearins, Hemisphere Publishing Corporation,
Washington, 395-422, (1976).

- [57] SIEGEL, J.H. High Temperature Fluidization, Powder Technology, 38, 13, (1984).
- [58] BASU, P., Study of Agglomeration of Coal-Ash in Fluidised Beds, The Canadian Journal of Chem. Eng., 60, 791, (1982).
- [59] BASU, P., SARKAI, A., Agglomeration of Coal-Ash in Fluidised Beds, Fuel, 62, 924, (1983).
- [60] SQUIRES, A.M., Study of Defluidization in Fluidised Bed, Fluidization Technology, Ed. by D.L. Kearins, Hemisphere Pub. Corp. Washington, 395-422, (1976).
- [61] BARRETT, D., BASOEKI, A., Factors Affecting Particle Size in Fluidized Carbonization of Coal, National Chemical Engineering Conference, Queensland, (1974).
- [62] TARDOS, G.I., MAZZONE, D., PFEFFER, R., Destabilization of Fluidization of Fluidized Beds Due to Agglomeration Part I: Theoretical Model, The Can. Jour. Chem. Eng., 63, 377, (1985).
- [63] TARDOS, G.I., MAZZONE, D., PFEFFER, R., Destabilization of Fluidization of Fluidized Beds Due to Agglomeration Part II: Experimental Verification, The Can. Jour. Chem. Eng., 63, 384, (1985).
- [64] GOLDBERGER, M.M., Collection of Fly Ash in a Self Agglomerating Fluidised bed Coal Burner, ASME, paper 67-WA-FU-3, Nov. (1962).
- [65] SIEGEL, J.H., Defluidization Phenomena in Fluidised Beds of Sticky Particles at High Temperatures, Ph.D. Dissertation, The City University of New York, (1976).
- [66] LANGSTON, B.G., STEPHENS, F.M., Self Agglomerating Fluidised Bed Reduction, Journal of Metals, 312-316, April, (1960).

- [67] SALVADOR,L.A., CHERISH,P., MARGORITIS,P.J.,
RATH,L.K., Process development for the
Westinghouse Advanced Fluidised Bed Coal
Gasification System, Society of Automotive Engineers
Inc., paper-78, (1978).
- [68] GOBLIRSCH,G.M., TALTY,R.D., Recent Development in
Fluidised Bed Combustion Technology for Lignites
and Subbituminous Coals in the U.S.A., Fluidised
Combustion Systems and Applications, paper IV-7,
London, Nov. (1980).
- [69] ZAKKAY,V., JOSEPH,A., SUNDERASUN,C., CLISSET,H.,
RADHAKRISHNAN.P., PANUNZIO.S.,
MILLER,G., Combustion of North Dakota Lignite in a
Pressurized Fluidized-Bed Combustor, Fluidized Bed
Combustion and Applied Technology, The First
Int.Symp. paper II-91, Ed.by R.G.Schwieger, New
York, Hemisphere Pub.Corp., (1984).
- [70] BARON,R.E., BEER,J.M., BORCHI,G., HODGES,J.L.,
SAROFIM, A.F., proc. of 5th.Inter. Conf. on FBC,
Washington D.C., Vol.3, 437, (1977).
- [71] HAMPARTSOUMIAN,E., GIBBS,J.M., The Influence of Fuel
Burning Characteristics on the Performance of a
Fluidised Bed Combustor, I.Mech.Eng., pp155-164,
(1983).
- [72] RUMPF,H., The Strength of Granules and Agglomerates, in
Agglomeration, Ed.by W.A.Knepper, John
Wiley&Sons, 379, New York, (1962).
- [73] RUMPF,H., Particle Adhesion, in Agglomeration 1977, Ed.by
K.V.S.Sastry, AIME, 97, (1977).
- [74] RUMPF,H., SOMMER,K., STEINER,K., Mechanism der
Haftkraftverstarung bei der Partiklehaftung durch
Plastisches Verformen, Sintern und Viskoelastisches
Flissen, Chem.Ing.-Techn., 48, 300, (1976).

- [75] SCHUBERT,H., Tensile Strength and Capillary Pressure of Moist Agglomerates, in Agglomeration 1977, Ed.by K.V.S.Sastry, AIME, 144, (1977).
- [76] ORMOS,Z., PATAKI, K., Studies on Granulation in a Fluidised Bed VIII, Hung,J.Ind.Chem., 7, 105, (1979).
- [77] DENCS,B., ORMOS,Z., Particle Formation from, Solutions in Gas Fluidised Beds IV, Hung,J.Ind.Chem., 6, 343, (1978).
- [78] ROBINSON,T., WALDIE,B., Dependency of Growth on Granule Size in a Spouted Bed Granulators, Trans.Inst.Chem.Eng., 57, 121, (1979).
- [79] SMITH,P.G., NIENOV,A.W., Growth Mechanisms in Fluidized Bed Granulation, I.Chem.Eng. Symp.Series., No.63, D2/K/1, (1981).
- [80] SHERWIN,M.B., SHINNER,R., KATZ,S., Dynamic Behaviour of the Well-Mixed Isothermal Crystallizer, AIChE J. 13, 1441, (1967).
- [81] HULBURT,H., KATZ,S., Some Problems in Particle Technology-A Statistical Mechanical Formulation, Chem.Eng.Sci., 19, 555, (1964).
- [82] LEVENSPIEL,O., KUNII,D., FITZGERALD,T., The Processing of Solids of Changing in Bubbling Fluidized Beds, Powder Technology, 2, 87, (1969).
- [83] BAKER,C.G.J., BERGOUGNOU,M.A., Precipitation of Sparigly Soluble Salts: A Model of Agglomeration Controlled Growth, Can.Jour.Chem.Eng., 52, 246, (1974).
- [84] HORADA,K., Granulation with Simultaneous Coating and Agglomeration in a Fluidized Bed: Particle Size Distribution and Growth Rate in Steady State, Kagaku Kogaku, 36, 79, (1972).

- [85] PULVERMACHER,B., RUCKENSTEIN,E., Two Kinds of Self Preserving Size Spectra of a Cloud of Particles, AIChE J., 21, 128, (1975).
- [86] KAPUR,P.C., Balling and Granulation, in Advances in Chemical Engineering, Ed.by T.B.Drew, 10, Academic Press, 55, New York, (1978).
- [87] ATAKÜL,H., EKİNCİ,E., Çan Bölgesi Linyitlerinin Akışkan Yatakta Aglomerasyonu, Doğa, TÜBİTAK Müh. ve Çevre, 11, 78-85, (1987).
- [88] YALKIN,G., ATAKÜL,H., ERDEM-ŞENATALAR,A., Bazı Türk Kömürlerinin Uçucu Yanma Süreleri,Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 9, 47, (1986).



ÖZGEÇMİŞ

1955 yılında İstanbul'da doğan Mustafa Tolay orta öğrenimini Vefa Lisesinde tamamlamıştır. 1974 yılında İ.T.Ü. Kimya Fakültesine girmiş ve 1979 yılında Kimya Mühendisi ünvanı almıştır. 1981 yılında aynı fakülteden Kimya Yüksek Mühendisi olarak mezun olmuş, 1980/1981 öğretim döneminde İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsünde İşletmecilik İhtisası yapmıştır. 1982 yılında İ.T.Ü. Kimya-Metalürji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Temel İşlemler ve Termodinamik Ana Bilim Dalı'na araştırma görevlisi olarak girmiştir. 1986/1987 yıllarında İngiltere Leeds Üniversitesinde misafir araştırmacı olarak bulunmuştur. 1988 ve 1991 yılları arasında Türk Henkel firmasında araştırma mühendisi, İtalya Enichem firmasında teknik danışman olarak görev yapmıştır. Halen Pak Gıda Üretim ve Pazarlama A.Ş. de Kalite Güvence Müdürü ve Arıtma Tesis Sorumlusu olarak çalışmaktadır.