

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

706303

KÖMÜR YANMASININ MATEMATİKSEL
MODELLENMESİ

Kimya Müh. Gökhan YETİM

F.B.E Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı

: Prof. Dr. Hasan HEPERKAN

Prof. Dr. Sabriye PIŞKIN

Prof. Dr. İsmail Tche

İSTANBUL, 2001

106303

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM BAKANLIĞI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|-------|
| SİMGE LİSTESİ..... | iv |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | vii |
| ÇİZELGE LİSTESİ..... | viii |
| ÖNSÖZ | ix |
| ÖZET | x |
| ABSTRACT | xi |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. AKIŞKAN YATAK VE AKIŞKAN YATAKTA YAKMA..... | 3 |
| 2.1 Akışkan Yatak..... | 3 |
| 2.2 Akışkan Yatakta Yakma..... | 4 |
| 2.3 Kömürün Akışkan Yatakta Yanması..... | 6 |
| 2.3.1 Uçucu Madde Çıkışı..... | 6 |
| 2.3.2 Uçucu Madde Yanması..... | 8 |
| 2.3.3 Char Yanması..... | 9 |
| 2.4 Akışkan Yatakta Yakmanın Avantajları..... | 10 |
| 2.4.1 Düşük Yatırım Masrafı..... | 10 |
| 2.4.2 Yüksek Karışma Hızı..... | 11 |
| 2.4.3 Düşük Bakım Maliyeti..... | 11 |
| 2.4.5 Isı İletim Özelliklerinin İyi Olması..... | 11 |
| 2.4.6 Yüksek Basıncıta Çalışabilme..... | 12 |
| 2.4.7 Kükürt Dioksitin Kaynağında Tutulması..... | 12 |
| 2.4.8 Azot Oksitlerin Oluşumunun Az Olması..... | 12 |
| 2.4.9 Atılan Taneciklerin Kolay Tutulması..... | 12 |
| 2.5 Akışkan Yatakların Dezavantajları..... | 12 |
| 2.6 Akışkan Yatak Yakma Sistemlerinin Modellenmesi..... | 13 |
| 3. AKIŞKAN YATAĞIN MODELLENMESİ..... | 16 |
| 3.1 Akışkan Yatak Modeli..... | 16 |
| 3.1.1 Akışkan Özelliklerinin Modellenmesi..... | 16 |
| 3.1.2 Uçucu Madde Çıkışı Bileşiminin ve Yanmasının Modellenmesi..... | 19 |
| 3.1.3 Kömür Partikülünün Yanması..... | 20 |
| 3.1.4 Reaksiyon Isılarının Hesaplanması..... | 22 |
| 3.1.5 Aktif Yataktaki Tanecik Miktarı..... | 23 |
| 3.1.6 Serbest Bölgeye Atılan Tanecik Miktarı..... | 23 |
| 3.1.7 Kömürün Özelliklerinin Modellenmesi..... | 24 |
| 3.2 Model Denklemleri..... | 24 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 3.2.1 | Aktif Yatak Model Denklemleri..... | 25 |
| 3.2.1.1 | Aktif Yatak İçin Kütle Dengeleri | 25 |
| 3.2.1.1.1 | Tüm Kütle Dengesi | 26 |
| 3.2.1.1.2 | Azot Dengesi | 26 |
| 3.2.1.1.3 | Oksijen Dengesi | 27 |
| 3.2.1.1.4 | Karbon Monoksit Dengesi..... | 27 |
| 3.2.1.1.5 | Karbon Dioksit Dengesi | 27 |
| 3.2.1.1.6 | Metan Dengesi | 27 |
| 3.2.1.1.7 | Su Dengesi | 28 |
| 3.2.1.1.8 | Kükürt Dengesi | 28 |
| 3.2.1.1.9 | Azot Oksit Dengesi | 28 |
| 3.2.1.2 | Aktif Yatak Enerji Dengesi | 28 |
| 3.2.2 | Serbest Bölge Model Denklemleri..... | 31 |
| 3.2.2.1 | Serbest Bölge Kütle Denklemleri | 31 |
| 3.2.2.2 | Serbest Bölge Enerji Denklemleri | 31 |
| 3.3 | Model Denklemlerinin Çözüm Metodu | 31 |
| 3.3.1 | Sınır Şartları..... | 31 |
| 3.4 | Modelin Uygulanması..... | 32 |
| 3.4.1 | Modellenen Deney Düzeneginin Tanıtılması | 32 |
| 3.4.1.1 | Rüzgar Odası | 32 |
| 3.4.1.2 | Dağıtıcı Elek | 32 |
| 3.4.1.3 | Yanma Odası ve Serbest Bölge | 33 |
| 3.4.2 | Deney Çalışma Şartları | 33 |
| 4. | SONUÇLAR ve TARTIŞMA..... | 35 |
| EKLER | | 45 |
| Ek1 | Basic Programı | 45 |
| ÖZGEÇMİŞ | | 50 |

SİMGE LİSTESİ

| | |
|---------------|--|
| A | Yatağın kesit alanı (m^2) |
| a | Char yanma zamanı için katsayı |
| C | Konsantrasyon ($kmol/m^3$) |
| C_s | Oksijenin char yüzeyindeki konsantrasyonu ($kmol/m^3$) |
| C_p | Spesifik ısı kapasitesi ($kJ/kmol K$) |
| C_∞ | Gaz akımındaki oksijen konsantrasyonu ($kmol/m^3$) |
| D | Akışkan yatak çapı (m) |
| $D_{O_2-N_2}$ | Oksijen gazı ile azot gazı arasındaki moleküler difüzyon katsayısı (m^2/s) |
| d | Kömür taneciğinin çapı (m) |
| E_c | Elementel analizde karbon kesri |
| E_h | Elementel analizde hidrojen kesri |
| E_n | Elementel analizde azot kesri |
| E_o | Elementel analizde oksijen kesri |
| E_s | Elementel analizde kükürt kesri |
| F_a | Serbest bölgede aşağı inen taneciklerin debisi ($kmol/s$) |
| F_o | Serbest bölgeye fırlatılan tanecik debisi ($kmol/s$) |
| F_y | Serbest bölgede yukarı çıkan taneciklerin debisi ($kmol/s$) |
| F_∞ | Serbest bölgeden dışarı atılan tanecik debisi ($kmol/s$) |
| G | Tanecik miktarı ($kmol$) |
| g | Yerçekimi ivmesi ($9.81 m/s^2$) |
| H | Yanma Entalpisi ($kJ/kmol$) |
| H_i | i bileşeninin yanma entalpisi ($kJ/kmol$) |
| h | Taşıma ısı transfer katsayısı (W/m^2K) |
| $h_{dış}$ | Dış hava taşıma ısı transfer katsayısı (W/m^2K) |
| $h_{iç}$ | Yatak içi taşıma ısı transfer katsayısı (W/m^2K) |
| h_{top} | Yatak için toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K) |
| $[I]$ | i bileşeninin konsantrasyonu ($kmol/m^3$) |
| K | Toplam reaksiyon hız sabiti (m/s) |
| $k_{malzeme}$ | Yatak malzemesinin ısı iletim katsayısı (W/mK) |
| k_c | Kimyasal reaksiyon hız sabiti (m/s) |
| k_d | Gaz difüzyonu için hız sabiti (m/s) |
| L | Yatak boyu (m) |
| M | Mol ağırlığı ($kg/kmol$) |

| | |
|------------|--|
| N | Toplam mol debisi (kmol/s) |
| n | Char yanma zamanı için üst katsayı |
| P | Basınç (Pa) |
| p | Char yüzeyindeki CO ₂ /CO oranı |
| Pr | Prandtl sayısı |
| Q | Isı debisi (J/s.m ² K) |
| r | Reaksiyon hızı (Homojen gaz fazı reaksiyonu için kmol/m ³ s, heterojen gaz-katı reaksiyonları için kmol/m ² s) |
| R | İdeal gaz sabiti (8314.34 j/kmol K) |
| Re | Reynolds sayısı |
| Sc | Schmidt sayısı |
| Sh | Sherwood sayısı |
| T | Sıcaklık (K) |
| T_s | Char yüzey sıcaklığı (K) |
| T_∞ | Gaz sıcaklığı (K) |
| U | Hız (m/s) |
| U_a | Aşağı düşen taneciklerin hızı (m/s) |
| U_{ter} | Taneciklerin terminal hızı (m/s) |
| U_y | Yukarı çıkan tanecik hızı (m/s) |
| X | Kütle kesri (kg i bileşeni/kg toplam madde) |
| X_{UM} | Uçucu maddenin kütle kesri (kg uçucu madde bileşeni/kg toplam madde) |
| y | Gazın mol oranı (kmol/kmol) |
| Z | Yatak yüksekliği (m) |

Yunan Harfleri

| | |
|------------|-------------------------------|
| λ | Isı iletim katsayısı (W/mK) |
| μ | Viskozite (kg/ms) |
| ρ | Yoğunluk (kg/m ³) |
| Θ | Mekanizma faktörü |
| ΔD | Yatak cidar kalınlığı (m) |
| α | Emisivite |
| π | Pi sayısı |

Alt İndisler

| | |
|-------|---------|
| mix | Karışım |
|-------|---------|

| | |
|----------|--------------------------|
| g | Gaz |
| c | Kömür |
| s | Yüzey |
| ∞ | Serbest akım özellikleri |



ŞEKİL LİSTESİ

| | | |
|-----------|---|----|
| Şekil 2.1 | Belirli bir büyüklükteki katı tanecikleri için basınç düşüşü ile gaz hızı arasındaki eğri (Howard, 1989)..... | 4 |
| Şekil 2.2 | Kömürden uçucu çıkışı (Pillai, 1982)..... | 7 |
| Şekil 2.3 | Yanmakta olan karbon partikülü etrafında konsantrasyon profili (Davidson, 1985)..... | 10 |
| Şekil 3.1 | Boru tip reaktörlerde tüm kütle ve bileşen dengesi için diferansiyel hacim elemanı..... | 25 |
| Şekil 3.2 | Boru tip yatak sistemi için diferansiyel hacim elemanı..... | 28 |
| Şekil 4.1 | Ani uçucu çıkışı ile aktif yatak yüksekliğine bağlı olarak yatak sıcaklığı | 37 |
| Şekil 4.2 | Ani uçucu çıkışı ile serbest bölge yüksekliğine bağlı olarak yatak sıcaklığı ... | 37 |
| Şekil 4.3 | Homojen uçucu çıkışı ile aktif yatak yüksekliğine bağlı olarak yatak sıcaklığı | 38 |
| Şekil 4.4 | Homojen uçucu çıkışı ile serbest bölge yüksekliğine bağlı olarak yatak sıcaklığı..... | 39 |
| Şekil 4.5 | Aktif yatak yüksekliğine bağlı olarak 1/300 temel katları..... | 40 |
| Şekil 4.6 | Uçucu çıkışının yatak yüksekliğinin fonksiyonu olduğu durum için aktif yatak yüksekliği ile yatak sıcaklığının değişimi..... | 40 |
| Şekil 4.7 | Uçucu çıkışının yatak yüksekliğinin fonksiyonu olduğu durum için serbest bölge yüksekliği ile yatak sıcaklığının değişimi | 41 |
| Şekil 4.8 | Aktif yatak yüksekliğine bağlı olarak gaz akımına katılan toplam uçucu yüzdesi..... | 42 |

ÇİZELGE LİSTESİ

| | | |
|-------------|--|----|
| Çizelge 2.1 | Akışkan yatak modelleri (Davidson, 1985)..... | 13 |
| Çizelge 2.2 | Çizelge 2.1'deki modellerin açıklamaları (Davidson, 1985)..... | 14 |
| Çizelge 3.1 | Gazların Lennard-Jones parametreleri | 17 |
| Çizelge 3.2 | A ve B katsayıları | 18 |
| Çizelge 3.3 | Yanma entalpileri (Perry, Chilton, 1973) | 23 |
| Çizelge 3.4 | Akışkan yatağın ölçüleri (Çubuk, 1999)..... | 33 |
| Çizelge 3.5 | Orhaneli linyitinin analiz değerleri (Çubuk, 1999)..... | 34 |



ÖNSÖZ

Kömür Yanmasının Matematiksel Modellenmesi isimli yüksek lisans tezini hazırlamamda beni yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. Hasan Heperkan'a teşekkürü bir borç bilirim. Aynı zamanda tezin yazımında bana yardım eden Ar. Gör. Metin Yavuz'a da teşekkür ederim.



ÖZET

Batı standartlarına bile zorla giren Türk linyitlerinin, ısıl değeri düşük, uçucu madde içeriği ve kirletici özellikleri ise yüksektir. Düşük kaliteli linyitler için en uygun yakma sistemi akışkan yatakta yakma sistemleridir. Akışkan yatak sistemlerinde yatağa ilave edilecek reaktif maddeler (kireçtaşı, dolamit) ile yanmış gazlar içindeki SO_2 derişimi düşürülebilmektedir. Akışkan yatak sistemlerinin performansının belirlenmesinde char ve uçucuların yanmasının her birinin etkisinin kütle ve enerji dengesine yansıtılması gereklidir. Düşük kaliteli linyitlerin toplam enerjisinin %50'ye yakını ucu maddelerden kaynaklanır. Uçucu madde yanması hem aktif yatakta hem de serbest bölgede gerçekleşebilir ve bu böylece ısı değıştirici yüzeylerin yerleşim yerini etkiler. Bu çalışmada uçucu madde çıkışı ve kinetik halde yanmasını içeren bir matematiksel model oluşturulmuş ve toplam uçucu maddenin yatak içinde çıkışının logaritmik bir fonksiyonla ifade edilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Akışkan yatak, matematiksel modelleme, yanma, linyit, uçucu madde.



ABSTRACT

Turkish lignites have low calorific value, high volatile matter and show high air pollution characteristics which put them outside the lignite category according to western standards. One of the best technologies used in the optimum utilization of low rank lignites is the fluidized bed combustion system. Fluidized bed combustion offers significant advantages over conventional power generation technologies. Utilization of in – bed reactive sorbents such as limestone and dolomite particles remove sulfur from the combustion products and lead to lower SO_x emissions. In order to predict the combustion performance of a fluidized bed system, it is necessary to combine char and volatile combustion models with overall system mass and heat balance expressions to account for the various input and output streams. Volatiles may contribute as much as 50% of the energy generated during the combustion of coals of lower rank whether volatile combustion occur in the bed or the freeboard could influence the design of the location of the heat exchange surfaces installed in the combustor. In this study, a mathematical model has been developed which accounts for the devolatilization of coal together with the kinetic combustion of volatile matter. It has been observed that the devolatilization of total volatiles within the fluidized bed can be expressed as a logarithmic function.

Keywords: Fluidized bed, mathematical modelling, combustion, lignite, volatile matter.

1. GİRİŞ

Ülkemizde enerji ihtiyacı her geçen gün artmakta ve bu ihtiyacın büyük bir bölümü de ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Ülkemizin hızla artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için, enerji kaynağı seçiminde dikkatli olması gerekmektedir. Enerji kaynakları temel olarak iki kısma ayrılmaktadır. Bunlar yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarıdır. Kapital güneş enerjisi olarak yerkürede depolanmış olan fosil ve nükleer yakıtlar “yenilenemeyen enerji kaynakları” olarak tanımlanır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının yeraltındaki miktarları belirlidir ve tüketimleri sürdükçe azalmaktadır. Güneşten gelen günlük enerjiye dayanan enerji kaynakları olan; rüzgar, dalga, hidrolik, biyomas ve güneş ışınları yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanır. Ayrıca gel-git ve jeotermal enerji kaynakları da yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır. Petrol, kömür, doğal gaz ve asfaltit gibi bitki veya hayvan atıklarından kaynaklanan tortul tabakaların oluşturduğu yakıtlar fosil enerji kaynaklarını oluşturur. Fosil yakıtlar, kimyasal yakıt sınıfına girmektedir. Kimyasal yakıt, yapılarında içerdikleri kimyasal enerji kullanılabilir şekle (genellikle ısı şekline) dönüştürülebilen maddelere verilen genel bir isimdir; bu dönüşme prosesine yanma denir. Kimyasal yakıtın genel tanımı şöyledir: oksijen ile ekzotermik bir tepkime ile birleşerek elde edilebilir ve tercihen dönüştürülebilir oranda ısı üretebilen maddelerdir. Bu tür yakıtların çoğu karbon ve hidrojen içerir ve yanma sonucu karbon dioksit ve su oluşur. Bu tanıma giren yakıtlar enerjiyi atomun dış elektronlarının yeniden düzenlenmesi ile verirler ve atomun çekirdeği etkilenmez.

Kömür değişik türlerde ve oranlarda organik madde içeren tortul bir kayadır. Yapısı bileşimi ve kökeni tamamen aynı olan iki kömür yoktur. Kömürler yeryüzünde coğrafik olarak çok geniş bir alana yayılmıştır ve tek bir zaman aralığında depolanmamıştır. Turba aşamasından sonraki kömürleşme olayları sonucu oluşan kömürler sırasıyla şu isimleri alırlar: linyit, yarı bitümlü ve bitümlü kömür, antrasit, metaantrasit. Kömürleşme devam ederken kömürün bazı özelliklerinde değişiklikler meydana gelir. Kömürleşme ilerledikçe kömürün karbon miktarı artar, oksijen miktarı hızla azalır. Kömürleşme ilerledikçe oksijen/karbon ve hidrojen/karbon oranları azalır. Kömür oksijensiz ortamda ısıtıldığı zaman kimyasal olarak değişikliğe uğrar ve kömürden çoğunluğunu karbon monoksit, katran buharları metan ve diğer hidrokarbonlar gibi yanıcı gazların oluşturduğu ve yanmayan gazlardan oluşan “uçucu madde” çıkışı olur. Değişik yaşlardaki kömürlerin uçucu maddelerinin bileşimleri ve miktarları da önemli farklılıklar gösterir; kömürün yaşı arttıkça içerdiği uçucu maddenin miktarı ve uçucu madde içindeki yanmayan gaz miktarı azalır. Bir kömürün ısı değeri ise türüne ve organik yapısına karışmış olan yanmayan maddenin miktarına bağlıdır. Kömürün ısı değeri yaşına bağlı olarak

değişir. Genç kömürlerin ısı değerleri düşüktür; çünkü oksijen ve nem içerikleri fazladır.

Halen ülkemiz enerji arzının %55'i ithalatla karşılanmakta ve toplam tüketimde en büyük payı petrol oluşturmaktadır. Günümüzde kullanılmakta olan birincil enerji kaynaklarının hızla tükenmekte oluşu ülkeleri enerji ihtiyacını karşılamakta yeni alternatifler aramaya yöneltmektedir. Alternatif enerji kaynakları konusunda yapılan araştırmalar, ülkelerin kendi potansiyellerini bilerek ve yerli kaynaklarına dayanan enerji üretimi yapmaları gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Türkiye'nin kullanabileceği en önemli kaynaklarından biride linyit rezervleridir. Batı standartlarına bile zorla giren bu linyitlerimiz, yukarıda da açıklandığı gibi, ısı değeri düşük, kirletici özellikleri yüksektir. Yakma teknolojisini etkileyen bir diğer özelliği ise uçucu maddesinin yüksek (%30-40) olması ve bu nedenle uçucu maddenin kömürün toplam ısı değerindeki payının büyük olmasıdır. Bu tip kömürlerden optimum şekilde yararlanmak için akışkan yataklı yakma sistemleri kullanılmalıdır. Akışkan yatak içinde uçucu maddenin açığa çıkma ve yanma davranışının bilinmesi hem ısı değiştiricilerin yerini belirlemek açısından hem de yanmanın daha etkin sağlanabilmesi açısından önemlidir. Matematiksel modelleme sayesinde, yatak boyunca bileşenlerin konsantrasyonunun ve diğer özelliklerin ne şekilde değiştiğini bulabiliriz ve yakma sisteminin verimini arttırıcı önlemler veya daha iyi tasarımlar ortaya çıkarabiliriz.

2. AKIŞKAN YATAK VE AKIŞKAN YATAKTA YAKMA

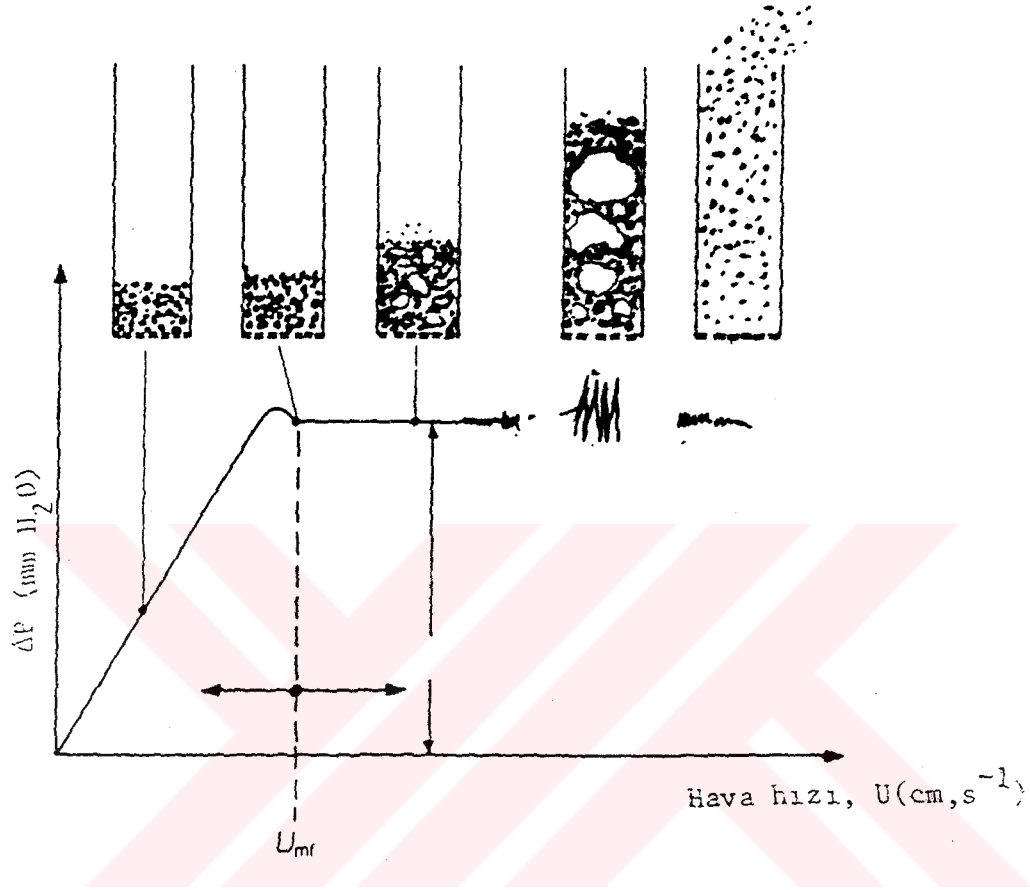
2.1 Akışkan Yatak

Küçük katı taneciklerini, gaz veya sıvı ile temas ettirerek, akışkanların özelliklerine benzer özellikler kazandırma işlemine “akışkanlaştırma” denir. Bir kolonda delikli olarak yapılmış bir plakanın üzerine doldurulmuş katı taneciklerin delikli plakanın altından gönderilen gaz veya sıvı ile akışkanlaştırıldığı sisteme ise “akışkan yatak” sistemi denir (Altıntay, 1979).

Dağıtıcı eleğin altından basılan düşük hava hızlarında tanecikler hareket etmeksizin konumlarını korurlar. Akışkan tanecikler arasındaki boşluklardan süzülerek geçerken belirli oranda basınç kaybına uğrar. Bu aşamada yığın bir “sabit yatak” durumundadır. Akışkanın hızı arttırılmaya devam edilirse, bir süre sonra, akışkanın katı taneciklerine uyguladığı sürtünme ve kaldırma kuvveti, taneciklerin ağırlığından kaynaklanan ve aşağı doğru olan kuvveti dengeler. Tanecikler akışkan içinde asılı kalır, komşu taneciklerden gelen basınç kuvvetinin dikey bileşeni yok olur. Hidrostatik basınç farkı altında hareket eden akışkan-katı karışımı hidrodinamik özellikleri açısından artık bir akışkan davranımı göstermektedir. Bu durumda akışkan “minimum akışkanlaşma” evresindedir. Minimum akışkanlaşmayı sağlamak için ulaşılan hız ise “mimumum akışkanlaşma hızı” olarak tanımlanır. Akışkan hızı daha da arttırılırsa, önce en küçük tanecikler daha sonra daha büyük tanecikler yataktan taşınmaya başlar. Bu aşamada akışkan hızına “taşınma hızı” denir. Taşınma hızı üzerindeki hızlarda yatak artık bir “pnömatik taşıma sistemi” dir. Katı taneciklerin dışarıya taşınmaya başladığı hıza terminal hız denir. Normal şartlarda yatak terminal hız ile minimum akışkanlaşma hızlarında çalıştırılır (Davidson, 1985). Yukarıda anlatılan olayları belirten gaz hızına bağlı olarak yataktaki basınç düşüşü ve yatak davranışını gösterir eğri Şekil 2.1’dedir (Howard, 1989).

Mimumum akışkanlaşma hızının üzerindeki gaz hızlarında, fazla gaz yataktan kabarcıklar halinde geçmeye başlar. Bu durumda yatak “kabarcıklı akışkan yatak” adını alır. Başlangıçta küçük olan gaz kabarcıkları, gaz hızına paralel olarak büyümeye başlar ve mimumum akışkanlaşma hızının çok üzerine çıkması halinde kabarcıklar yatak kesit alanını büyük oranda kaplayarak yatak malzemesinin pistonu benzer düzenli hareketlerle yatağın üst kısmına taşınmasına yol açarlar. Yüksek gaz hızlarında ve küçük çaplı yataklarda görülen bu akışa ise “tıkaç akış” denilir. Gaz hızı biraz daha arttırıldığında, yatağın heterojen, iki fazlı karakteri değişerek yatak türbülanslı hale geçer. Türbülanslı akışkan yataklarda, yatağın üst kısmında yatağa göre daha seyrek yapıda bir üst bölge gözlenir. Bu tip yataklarda gaz hızı

terminal hıza yakındır.



Şekil 2.1 Belirli bir büyüklükteki katı tanecikleri için basınç düşüşü ile gaz hızı arasındaki eğri (Howard, 1989)

Kabarcıklı akışkan yataklar katı-akışkan temasının sürekli olması, reaksiyon bölgesi ile ısı transfer yüzeyleri arasındaki ısı geçiş katsayısının yüksek olması, katı taneciklerin yatak içinde her yönde karışmaları, gaz hızlarının fazla olması ve yataktan tanecik taşınmasının az olması gibi nedenlerle düşük kaliteli toz kömürlerin yakılmasında önemli yer tutarlar (Eskin, 1990).

2.2 Akışkan Yatakta Yakma

Akışkan yatak sistemi yakıcı olarak kullanıldığı zaman yapıldığı malzemenin korozyona ve ısıl etkilere dayanıklı olması gerekir (Ekinci, 1981). Akışkan yataklarda düşük kaliteli kömürler, linyitler, bitümlü şistler, sanayi atıkları ve şehir çöpleri gibi çok çeşitli yakıtlar enerji kaynağı olarak kullanılabilir.

Akışkan yatakta yanma, kömür taneciklerinin hava ile akışkanlaştırıldığı ve tutuşma sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılmış olan kum, kül gibi inert maddelerden oluşmuş bir ortamda gerçekleştirilir. Yatak malzemenin ise yanmayan bir malzemedan seçilmesi gerekmektedir. Yanan kömür taneciklerinin tüm yatak malzemesi içindeki derişimi %2-5 civarında kalmaktadır. Yatak dolgu malzemesini akışkanlaştırmak için dağıtıcı eleğin altından gönderilen hava hem akışkanlaşmayı hem de yanma için gerekli oksijeni sağlar. Akışkanlaşma hızının altına düşmemek şartı ile hava miktarı arttırılıp azaltılabilir. Katı yakıt yatağa üstten veya alttan beslenebilir.

Yatak çalışma sıcaklığı 1073 – 1273 K arasında tutulmaktadır. Sistemde gaz veya elektrik kullanılarak ısıtma yapılabilir. Yatak, kömür tutuşma sıcaklığının üzerine çıkıldıktan sonra sürekli olarak kömür beslenip, ısıtma kesilir. Akışkanlaşmayı ve yanmayı sağlayan hava ile yatak içerisinde kuvvetli bir karışım sağlandığından, beslenen kömür ile yatak dolgu malzemesi birbiriyle hemen karışır. Yüksek oranlarda inert malzemenin karışması ile meydana gelen türbülans nedeniyle çok iyi bir ısı ve kütle taşınım özellikleri görülür.

Yanma sonucu oluşan külün bir kısmı sistemin kararlı durumunu korumak için dışarı alınır. Yanma sonunda meydana gelen gazlar içindeki küçük ve yanmamış kömür tanelerini tutmak için bir ön siklondan geçirilir. Kömür tanecikleri ile beraber küçük kül tanecikleri de bu siklonda tutulur. Tutulan kömür tanecikleri, yanma verimini arttırmak için tekrar yatağa verilebilir. Baca gazının partiküllerden temizlenmesi için birkaç kademe daha siklon kullanılabilir.

Yanma reaksiyonu ile açığa çıkan ısının bir kısmı yatağı kararlı koşullarda tutmak için kullanılırken diğer kısmı aktif yatak ve serbest bölgeye yerleştirilen ısı değiştiriciler ile çekilir. Isı değiştiricilerden üretilen buhar ya proses yada elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılabilir.

Akışkan yataklar genellikle 3 gruba ayrılır:

- a) Atmosferik basınçta çalıştırılan kabarcıklı akışkan yataklar
- b) Silkülasyonlu akışkan yataklar
- c) Basıçlı akışkan yataklar

Atmosfer basıncında ve yüksek basınçta çalıştırılan akışkan yataklar karşılaştırılırsa; yüksek basınçlarda çalışmanın, buhar kazanı boyutlarında küçülme, yanma verimini artırma, daha

kalitelibir akışkanlaşma sağlama, birleşik gaz ve buhar türbini kullanılması sonucu, ısı transfer yüzeyi gereksinimi azaltma ve azot oksitleri yayılımı konusunda atmosferi daha az kirletmesi yönlerinden üstün olduğu görülür. Ancak basınçlı yatak deney ve ön uygulama aşamasındadır.

Akışkan yatak sistemleri, katı yerine katı veya gaz yakıt kullanılabilir. Sıvı yakıt için besleme sisteminde değişiklik yapılmasına karşın gaz yakıtlarda herhangi bir değişikliğe gerek yoktur (Yates, 1978).

2.3 Kömürün Akışkan Yatakta Yanması

Kömürün akışkan yatakta yanması, kömürün inert maddelerle karışması, uçucu çıkışı, uçucu yanması ve char yanmasından oluşur (Brunello vd., 1996).

2.3.1 Uçucu Madde Çıkışı

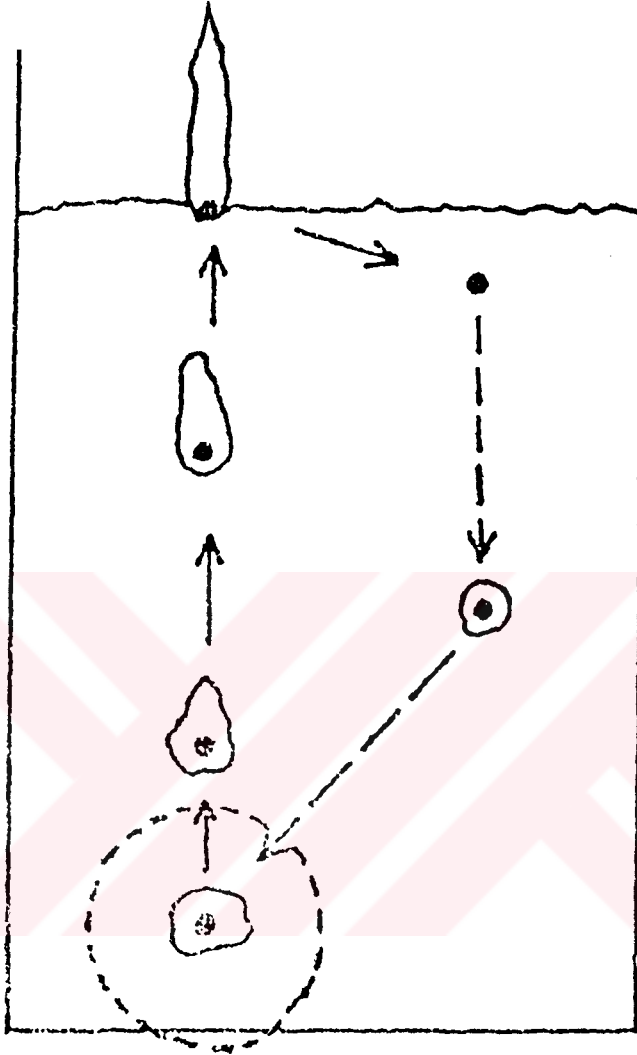
Uçucu madde çıkışı konusundaki yapılan varsayımlar;

- a) Uçucu çıkışı yatağın en alt bölümünden ve ani olarak gerçekleştiği (Gibbs, 1975).
- b) Uçucu maddelerin çıkış hızı kömürün yatak içinde karışma hızından düşüktür. Bundan dolayı uçucuların yatak boyunca tekdüze olarak kurtulduğu (Baron vd., 1978).
- c) Uçucuların tüy modelinde açığa çıktığı. Uçucuların yanarken meydana getirdiği şeklin bir tüyü andırması nedeniyle bu şekli kabul eden modele tüy modeli adı verilir (Park vd., 1980).

Pillai (1982) tarafından tanımlanan uçucu çıkışına göre;

- a) Önce tanecik yatak sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa yükselmekte ve kor haline gelmiş yatak üzerinde siyah bir nokta gibi görünmektedir. Kömür tipine bağlı olarak tanecik birkaç saniye genişleyebilmektedir. Oluşan uçucular ise kömür tanecikleri etrafında kabarcık oluştururlar. Bu kabarcıktan dışarı doğru radyal uçucu akışı bulunmaktadır.
- b) Yataktan yukarı doğru çıkmaya çalışan kabarcık sivrilmekte ve kömür taneciği etrafında onu batırmayan bir kuvvet oluşturmaktadır. Tanecik yukarı doğru hareket etmektedir.
- c) Kömür ve uçucu kabarcığı yatak yüzeyi üzerinde tüy şeklinde bir alev vererek uçucu kabarcığı yanmaktadır.
- d) Uçucu kabarcığının kaldırma kuvveti ortadan kalktığından partikül tekrar yatağa geri

dönmekte ve charın sıcaklığı artarak parlak bir renk almaktadır. Şekil 2.2’de belirtilen uçucu çıkışı görülmektedir.



Şekil 2.2 Kömürden uçucu çıkışı (Pillai, 1982)

Kömürlerin uçucularından ayrılma süresi ilk tanecik çapı ile orantılıdır. Uçucuların ayrılma süresi aynı zamanda yatak sıcaklığının bir fonksiyonudur. Bitümlü kömürün yatak malzemesi kireçtaşı olan bir akışkan yatakta, yatak sıcaklığı 900 °C için 3 saniyede, 800 °C için 4 saniyede uçucularından ayrıldığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan bir akışkan yatak yakıcıda katı taneciklerin karışma süresi yatak büyüklüğüne ve yatağa kömür beslenen noktalarına göre değişir.

Kömürden uçucu çıkışını veren bağıntı;

$$t = a \cdot d^n$$

(2.1)

Buradaki sabitler olan a ve n 'nin her ikisi de sıcaklığa bağlıdır (Pillai, 1981).

2.3.2 Uçucu Madde Yanması

Linyitlerin ısı değerinin yaklaşık %40'ını oluşturan uçucu maddelerin yanması, akışkan yataklı yakma sisteminde yatak içi ısı dağılımını etkilediği gibi, ısı transfer yüzeylerinin konumunu belirlemeye yönelik tasarım çalışmalarında göz önünde tutulması gereken bir parametredir. Aynı zamanda uçucu maddeler, yatak derinliğine ve kömürün yatağa beslenme şekline bağlı olarak aktif yatak bölgesinde ve / veya serbest bölgede yanarlar.

Akışkan yatak modellerinde, zorluğu nedeni ile uçucu madde yanması ya ihmal edilir ya da çok hızlı olduğu (denge halinde yanma) varsayımları yapılarak işlemlere katılır. Yüksek kaliteli kömürlerde bu tür sınırlamalar önemli bir hataya neden olmazken uçucu maddesi yüksek olan düşük kaliteli linyitlerin akışkan yatakta yakılmasında önemi artar.

Ekinci vd. (1983) çalışmaları sonucu kesikli deneylerde uçucu madde yanmasının önce başladığını ve asıl serbest bölgeyi etkilediği, char yanmasının ise bundan sonra başladığı ve esas olarak aktif yatağı etkileyici yönde geliştiği görülmektedir. Sürekli kok ve taş kömürü yakma deneylerinde uçucu madde yanmasının serbest bölgede önemli ölçüde etkin olduğu, char yanmasının ise Aktif yatak ve yatağın üst kısımlarında belirginleştiği görülmüştür. Buradan uçucu maddenin önemli ölçüde serbest bölgede yandığı çıkarılabilmektedir.

Uçucu madde yanmasında yaygın olarak kullanılan modeller :

- Uçucu madde çıkışı ve yanması yatak içinde tekdüze olarak gerçekleşmektedir (Rajan vd., 1978).
- Uçucu maddeler yatak içinde kömürün beslendiği noktadan geçen düzlemde tekdüze olarak yayılmaktadır. Besleme noktasının üzerinde ise tekdüze bir uçucu yanması gözlenir (Congalidis ve Georgakis, 1981).

Tüm bu modellerde uçucu madde bileşimi denge kabulü ile yatakta yanmaktadır.

Stubington (1980), uçucu madde yanmasında hız kontrol edici adımın, uçucu maddelerin oksijenle karışması olduğunu vurgulayarak yatak içinde Reynold sayısının yaklaşık 1 civarında olduğundan, karışma süresince moleküler difüzyonun hakim olduğunu belirtmektedir.

Akışkan yatakta yanma sürecinde, hızlı oksijen transferi ve şiddetli karıştırma koşullarında bile, uçucu maddelerin bir kısmının 1 metre derinliğindeki yatağın yüzeyine ulaşabildiğini ve serbest bölgede yandığına dikkat çekmektedir ve dikkat edilmesi gereken verileri sıralamıştır;

- a) Uçucu maddelerin hem aksel hem de radyal yönde derişim dağılımları vardır.
- b) Uçucusu çıkmakta olan kömürün çevresindeki kabarcık ve sürekli ortam arasında gaz alışverişi olmaktadır. Bu alışveriş tanecik ve kabarcığın çaplarına bağımlıdır.

Akışkan yatakta yakılacak kömürlerde, uçucu maddelerin ve nem içeriğinin dikkate alarak besleme noktasının yerini belirlemek ve uçucu maddelerin yatak içinde kalarak yanmalarını sağlamak için aksel yönde olduğu kadar, radyal yönde de çok iyi bir karışımın koşullarını yaratmak gerekmektedir .

2.3.3 Char Yanması

Kömürden uçucuların ayrılması ile geriye gözenekli yapıda char tanecikleri kalır.

Charın oksijenle reaksiyonları;



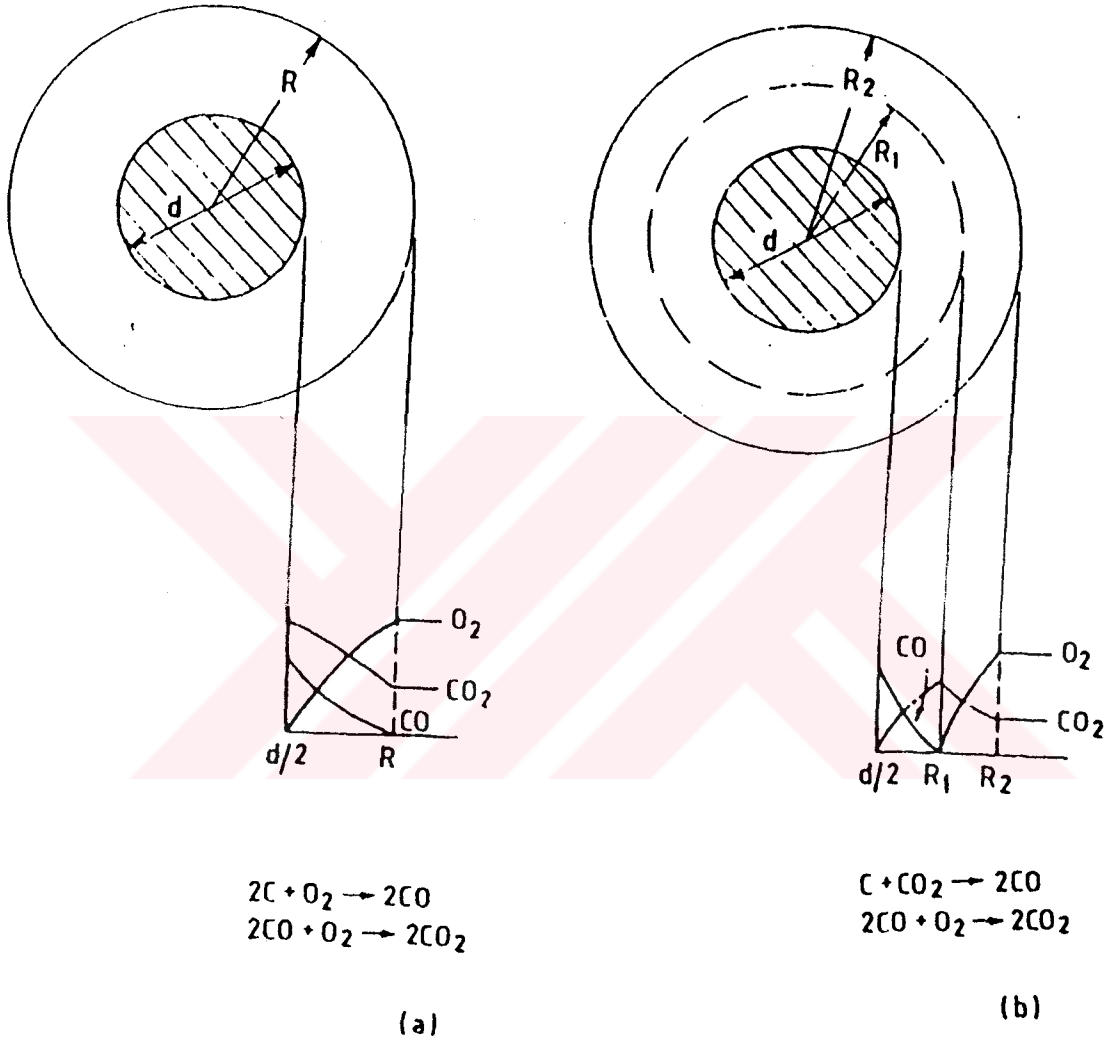
Charın gazlaşması ve yanması esnasında oluşan diğer reaksiyonlar ise;



Karbon-Hidrojen reaksiyonu, basınç altında olmadıkça ihmal edilebilecek bir reaksiyondur. Bunun yanında akışkan yatak yakıcılarda Karbon-Su buharı ve Karbon-Karbon dioksit reaksiyonları da yavaş reaksiyonlar olarak kabul edilir (Eskin, 1990).

Char yüzeyinde ve sınır tabakasında olan reaksiyonlarla ilgili iki temel mekanizma kabul edilmektedir. Bunlardan birincisi tek film teorisi diğeri ise iki film teorisidir. Tek film teorisinde karbon yüzeyinde (2.2) ve (2.3) reaksiyonları meydana gelmekte ve sınır tabaka boyunca (2.7) reaksiyonu ile karbon monoksit tüketilmektedir. İki film teorisinde ise char

yüzeyinde (2.4) reaksiyonu meydana gelmekte ve oluşan karbon monoksit yine sınır tabaka içinde karbon dioksite yanmakta oluşan karbon dioksitin ise belli kısmı char yüzeyine dönerken diğer kısmı ise dış akıma geçmektedir. Char partikülü etrafındaki konsantrasyon profilleri Şekil 2.3'te görülmektedir (Davidson, 1985).



Şekil 2.3 Yanmakta olan karbon partikülü etrafında konsantrasyon profili (Davidson, 1985)

2.4 Akışkan Yatakta Yakmanın Avantajları

2.4.1 Düşük Yatırım Masrafı

İyi karışma nedeniyle kimyasal reaksiyon hızı yüksektir ve reaktör hacmi, diğer yakma sistemlerindeki reaktör hacmi ile karşılaştırıldığında daha küçüktür. Reaktörü terk eden gazlar diğer sistemleri terk eden gazlardan daha düşük sıcaklıkta olduğundan gaz temizlenmeden

önce gerekli olan soğutma daha azdır. Diğer yandan geri kazanılabilecek ısıda doğal olarak daha azdır. Yatak sıcaklığının 750 – 900 °C arasında olması yapım için sıcaklığa dayanıklı malzemeler kullanılmalıdır. Kömürün pulverize değilde sadece kırılması ve öğütülmesi yeterli olduğundan kömür hazırlama masraflarında önemli bir azalma olur (Öner, 1985).

2.4.2 Yüksek Karışma Hızı

Yatağa beslenen maddelerin yatakta bulunan maddelerle karışma hızı oldukça yüksektir. Karışmanın hızlı olması yatağın her yerinde sıcaklığın ortalama olarak sabit kalmasına neden olmaktadır.

2.4.3 Düşük Bakım Maliyeti

Kömür, temizlenmeden ve pahalı püskürtme işlemlerine gerek kalmadan yakılabilir. Kömür külünün aşındırma niteliği püskürtmeli yakıcılarda bozukluklara neden olmaktadır. Akışkan yatakta ise sürüklenen kül tanecikleri kolay parçalanabilir olduğundan aşındırma yapmazlar. Bu özellikten ötürü akışkan yatak basınç altında yakılarak yanma gazları elektrik enerjisi üretiminde kullanılan gaz türbinlerini herhangi bir aşındırma yapmaksızın çalıştırmak mümkündür. Akışkan yatak yakma sistemlerinin çalışma sıcaklığında yatakta bulunan alkali tuzları çok az buharlaştıkları için genellikle külde kalırlar. Böylece önemli ölçüde korozyona neden olmazlar. Akışkan yataklı yakıcıların özelliklerinden bir diğeri de yanma sonucu olan SO₂'nin yatağa dolomit veya kireçtaşı ilavesi ile tepkimeye sokularak yanma gazlarının temizlenmesidir.

Çok farklı özelliklere sahip, düşük kaliteli yakıtları akışkan yataklı yakıcılarda yakmak mümkündür. Yakıt / inert oranı çok küçük olduğundan sistemdeki yanma süresi yakıtın özelliklerine bağlı değildir. Yanma sıcaklığı düşük olmasına karşın, hava ve yakıt şiddetli ve etkin olarak karıştığından, %90- % 99'a varan yanma verimleri elde edilebilmektedir.

2.4.4 Esneklik

Akışkan yatakta yakma sisteminin en büyük avantajı kullanılan yakıtı bağımlı olmamasıdır. Katı, sıvı, ve gaz yakıt, aynı sistemde hatta aynı anda kullanılabilir. Katı yakıt yakılırken sıvı veya gaz yakıt zaman kullanılabilceği gibi, katı yakıttan diğer yakıtı geçilebilir.

2.4.5 Isı İletim Özelliklerinin İyi Olması

Yatakta sağlanan iyi karışma, ısı değiştirici borular ve inert madde arasındaki konvektif ısı

iletim katsayısının yüksek olmasını sağlamaktadır. Konvektif ısı iletim katsayısı genellikle 150–400 W/m².K arasında değişmektedir. Bu katsayı inert partikül büyüklüğü ile ters orantılı, yakıt sıcaklığı ve ısı iletim yüzey alanıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Ayrıca radyasyonla da ısı iletimi vardır. Radyasyonla ısı iletiminin toplam ısı iletimine katkısı yatak sıcaklığı ile artabilmekte ve toplam ısı iletiminde % 20-50 kadar yer tutabilmektedir.

2.4.6 Yüksek Basınçta Çalışabilme

Yapılan çalışmalarda basınç 25 atmosfere kadar arttırılmıştır. Yataktan çıkan yüksek sıcaklıktaki baca gazları doğrudan gaz türbinlerine gönderilerek elektrik enerjisi üretilebilir. Ayrıca gaz ve buhar türbinleri beraber kullanılabilir.

2.4.7 Kükürt Dioksitin Kaynağında Tutulması

Akışkan yatakta yakma sistemlerinin en önemli özelliklerinden biride yatağa kireç taşı veya dolomit katarak kükürdü fazla olan yakıt maddelerinden oluşan ve hava kirliliğine neden olan kükürt dioksit gazını oluşur oluşmaz yatakta tutabilmesidir. Kükürt dioksitin tutulma verimi kalsiyum/kükürt oranına bağlıdır. Kireçtaşı içindeki kalsiyum oksit, kükürt oksit ile birleşir ve kalsiyum sülfat halinde tutulur. Kireçtaşının teorik miktarda kullanılması ile kükürt dioksit çıkışındaki azalma %80 iken, teorik miktarın iki katının kullanılması halinde kükürt dioksit tutulması %90'ın üzerine çıkmaktadır.

2.4.8 Azot Oksitlerin Oluşumunun Az Olması

Akışkan yatakta yakma sıcaklığının diğer sistemlere göre düşük olması nedeni ile azot oksitleyicilerde daha az oluşmaktadır. %1 azot içeren bir kömürden oluşan azot oksitleyicileri, 50–200 ppm arasında ölçülmüştür.

2.4.9 Atılan Taneciklerin Kolay Tutulması

Akışkan yatakta yakma sisteminden uçucu kül tanecikleri, örneğin pulverize kömür yakma sistemlerinden çıkan uçucu kül taneciklerinden daha büyüktür.

2.5 Akışkan Yatakların Dezavantajları

- a) Tasarım güçlükleri
- b) İlk işletme güçlükleri

- c) Dolomit, kireçtaşı gibi artıkların taşınım güçlükleri
- d) Külün aglomerasyona uğraması sorunu
- e) Akışkanlaştırma ve yakma öncesi hazırlıklar
- f) Boyut büyültmekte tasarım güçlükleri
- g) Taneciklerin çeşitli özelliklerinden dolayı akışkanlaştırma güçlükleri
- h) Yatak içindeki yanma kinetiğinin tam olarak belirlenememesinden dolayı modelleme konusunda güçlüklerle karşılaştırılmasıdır (Atımtay, 1979).

2.6 Akışkan Yatak Yakma Sistemlerinin Modellenmesi

Gerçek anlamda akışkan yatağın performansının belirlenmesi için char ve uçucu maddelerin yanmasının kütle ve enerji denklemlerinde hesaba katılması gerekmektedir. Çizelge 2.1'de yapılan modeller, Çizelge 2.2'de ise bu modellerin temel varsayımları görülmektedir (Davidson, 1985).

Çizelge 2.1 Akışkan yatak modelleri (Davidson, 1985)

| Kaynak | A | B | C | D | E | F | G |
|-------------------------------|--------|--------|---|--------|--------|--------|-------|
| Yagi ve Kunii (1955) | 4 | 4 | 1 | 3 | 2 ve 3 | 1 ve 2 | Hayır |
| Wen ve Wang (1970) | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | Hayır |
| Avedesian ve Deviddson (1973) | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | Hayır |
| Becker vd. (1975) | 3 | 3 | 1 | 1 ve 2 | 1 | 1 | Hayır |
| Campbell ve Davidson (1975) | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | Hayır |
| Gibbs (1975) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 ve 2 | Hayır |
| Gordon ve Amundson (1976) | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 ve 3 | 3 | Hayır |
| Baron vd. (1978 a) | 1 ve 4 | 1 ve 4 | 1 | 2 | 2 | 1 ve 2 | Hayır |
| Borghini vd. (1977) | 1 ve 4 | 1 ve 4 | 1 | 2 | 2 | 1 ve 2 | Hayır |
| Chen ve Saxena (1977) | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | Hayır |
| Horio vd. (1978) | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | Hayır |
| Baron (1978 b) | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | Hayır |
| Chen ve Saxena (1978) | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | Hayır |
| Gordon vd. (1978) | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | Hayır |

| | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|--------|---|---|--------|--------|--------------|
| Horio ve Wen (1978) | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | Hayır |
| Rajan vd. (1978) | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | Hayır |
| Donsi vd. (1979b) | 1 | 1 ve 2 | 1 | 2 | 2 | 1 ve 2 | Evet |
| Fan vd. (1979) | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | Hayır |
| Park vd. (1980, 1981 a, b) | 4 | 4 | 1 | 4 | 2 | 1 | Bir kısmında |
| Bywater (1980) | 4 | 4 | 3 | 6 | 2 | 3 | Hayır |
| Rajan ve Wen (1980) | 3 | 2 | 2 | 5 | 2 | 1 ve 2 | Evet |
| Saxena ve Rehmat (1980) | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 ve 3 | 3 | Hayır |
| Wells ve Krishnan (1980) | 1 ve 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 ve 2 | Hayır |
| Wells vd. (1980) | 1 ve 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 ve 2 | Hayır |
| Buker ve Amundson (1981) | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | Hayır |
| Chakraborty ve Howard (1981 a) | 4 | 4 | 1 | 3 | 2 ve 3 | 3 | Hayır |
| Congalidis ve Georgakis (1981) | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 ve 2 | Hayır |
| Ross ve Davidson (1982) | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 ve 3 | 3 | Hayır |

Çizelge 2.2 Çizelge 2.1'deki modellerin açıklamaları (Davidson, 1985)

| | |
|---|---|
| A | AKIŞKAN YATAK MODELİ |
| 1 | İki fazlı kabarcıklı yatak modeli |
| 2 | Üç fazlı kabarcıklı akışkan yatak modeli |
| 3 | Seri bağlı kopartmanlar: Her kompartımanda iki fazlı akış |
| 4 | İki fazlı kabarcıklı yatak modeli, bulutlu kabarcıklar; kabarcık fazı ile emülsiyon fazı arasında kütle transferi yok |
| B | YATAKTAKİ GAZ AKIŞ HIZI |
| 1 | Kabarcık fazı tıkaç akış, emülsiyon fazı mükemmel karıştırmalı akış |
| 2 | Her fazda mükemmel akış |
| 3 | Her faz tıkaç akış |
| 4 | Yatak boyunca tıkaç akış |
| C | YATAK İÇİNDEKİ KATI HAREKETİ |
| 1 | İyi karışmış |
| 2 | Kompartımanlar arasında iyi karışmış |
| 3 | Katı dispersiyonu sınırlı, kütle transferi için dispersiyon sabiti kullanılmakta. |

| | |
|---|---|
| D | BESLENEN KÖMÜRDEN UÇUCU AYRILMASI |
| 1 | Uçucu çıkışı ani olmakta ve uçucu madde planar düzlemde homojen dağılmakta. |
| 2 | Uçucu çıkışı beslenen kömürün karışmasından düşük hızdadır. |
| 3 | Dikkate alınmamış |
| 4 | Uçucu çıkışı besleme noktasından ani olarak gerçekleşmekte. |
| 5 | D2 ve D4 arasında bir yaklaşım yapılmış. |
| 6 | Uçucu çıkışı katı difüzyonu şeklinde gerçekleşir. Uçucular difüzyon kontrollü olarak yanmaktadır. |
| E | KÖMÜRÜN YANMA KİNETİĞİ |
| 1 | Film difüzyon kontrollü |
| 2 | Film difüzyonu ve yüzey reaksiyonu toplam reaksiyon hızını etkilemektedir. Homojen $2CO+O_2 \rightarrow 2CO_2$ reaksiyonu çok hızlı olmaktadır. |
| 3 | CO yanma hızı diğer reaksiyonlarla karşılaştırılabilir. |
| 4 | Partikül üzerindeki kül tabakasındaki difüzyonuda içerir. |
| F | YATAKTAN PARTİKÜL KAYBI |
| 1 | Charın yataktan atılabilecek boyuta indiği kabul edilmiş. |
| 2 | Partiküller gaz akımı ile kaybedilebilir. |
| 3 | Dikkate Alınmamış. |
| G | SERBEST BÖLGEDE YANMA DİKKATE ALINMIŞ MI? |

3. AKIŞKAN YATAĞIN MODELLENMESİ

Bu çalışmada öncelikli olarak akışkan yatağın serbest bölgesi modellenmiş ardından da basit bir aktif yatak modeli oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar akışkan yatakta Orhaneli linyitinin kullanıldığı deneysel çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

Serbest bölge modeli kabulleri:

A) Serbest bölgede katı ve gaz bileşenler mükemmel karışmış ve üniformdur.

B) Ortamdaki metan ve karbon monoksit kinetik olarak yanmaktadır.

Aktif yatak modeli kabulleri:

A) Aktif yatak içindeki katı homojen olarak yatağa dağılmıştır

B) Aktif yatak içinde katı madde birikmemektedir.

C) Çalışma hızı minimum akışkanlaşma hızına yakındır.

D) Uçucu madde çıkışı yatağın başlangıç noktasından itibaren olmakta ve (2.1) eşitliğine göre yatak içinde honojen olarak dağılmaktadır.

E) Ortandaki metan ve karbon monoksit kinetik olarak yanmaktadır.

F) Aktif yatak ve serbest bölge birbirine seri halde bağlıdır.

G) Kömür nemi uçucu madde ile aynı kinetikte açığa çıkmaktadır.

3.1 Akışkan Yatak Modeli

Akışkan yatak sistemin modellenebilmesi için sistemi etkileyen her parametrenin aktif yatak ve serbest bölge boyunca değişiminin belirlenmesi ve kullanılan denklemlere yansıtılması gereklidir.

3.1.1 Akışkan Özelliklerinin Modellenmesi

Akışkan yatak içinde meydana gelen reaksiyonlara bağlı olarak yatağın boyu ile gazın mol miktarı ve bileşenlerin mol miktarları sürekli olarak değişir. Bunun sonucu olarakta gazın ısıletkenliği, viskozitesi ve özgül ısı değeri değişim halindedir. Gaz karışımının her bir bileşeninin viskozitesi;

$$\Omega_1 = \frac{A}{T^{*B}} + \frac{C}{\exp(D.T^*)} + \frac{E}{\exp(F.T^*)} \quad (3.1)$$

ve

$$T^* = (k/\varepsilon)_1 \cdot T_\infty \quad (3.2)$$

olmak üzere;

$$\mu_1 = 8.4401E-25(M_1 \cdot T_\infty)^{0.5} / \Omega_1 \cdot \sigma^2 \quad (3.3)$$

eşitliği ile bulunur. Ω_1 'in hesaplanmasında kullanılan katsayılar;

$$A=1.61145 \quad B=0.14874 \quad C=0.52487 \quad D=0.7732 \quad E=2.16178$$

Çizelge 3.1'de modelde kullanılan gazların Lennard-Jones Parametreleri verilmiştir.

Gazların her birinin ısı iletim katsayısı ise ;

$$\lambda_1 = \frac{(C_{p,1}/M_1 + 1.25R)10\mu_1}{M_1} \quad (3.4)$$

eşitliği ile bulunur .

Çizelge 3.1 Gazların Lennard-Jones parametreleri

| Madde | ε/k (K) | σ (m) |
|------------------|---------------------|--------------|
| CH ₄ | 141.4 | 3.746E-10 |
| N ₂ | 71.4 | 3.798E-10 |
| O ₂ | 106.7 | 3.467E-10 |
| CO ₂ | 195.2 | 3.941E-10 |
| H ₂ O | 809.1 | 2.641E-10 |
| CO | 91.7 | 3.690E-10 |
| NO | 116.1 | 3.492E-10 |
| SO ₂ | 335.4 | 4.112E-10 |

İdeal gazların özgül ısılarının sıcaklığın bir fonksiyonu olarak, $C_p = f(T)$ şeklindedir. Modelde mevcut korelasyonlar yerine Hougén ve ç.a. (1954) tarafından hazırlanan çizelgelerden 400-900 °C arasındaki değerler doğrusal ilişki ile ifade edilerek yeni korelasyonlar geliştirilmiştir.

Çizelge 3.2'de $C_p = A.T+B$ formunun katsayıları görülmektedir.

Çizelge 3.2 A ve B katsayıları

| Gaz | A | B |
|-----------------|-----------|--------|
| Azot | 0.0007054 | 6.6132 |
| Karbon dioksit | 0.0025432 | 8.7960 |
| Karbon monoksit | 0.0009317 | 6.7913 |
| Su | 0.0014028 | 7.4572 |
| Oksijen | 0.0009317 | 6.7424 |
| Kükürt dioksit | 0.021200 | 9.5629 |
| Hidrojen | 0.0001950 | 6.8453 |
| Metan | 0.0061340 | 6.8888 |
| Azot oksit | 0.0008105 | 6.7595 |

Karışım için ortalama değerler ise her bir bileşen için hesaplanan ısıl iletkenlik, viskozite, özgül ısı değerlerinden;

$$\lambda_{mix} = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\frac{\sum_{j=1}^N y_j \phi_{ij}}{1 + \frac{\sum_{j=1}^N y_j}{y_i}}} \quad (3.5)$$

$$\mu_{mix} = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_i}{\frac{\sum_{j=1}^N y_j \phi_{ij}}{1 + \frac{\sum_{j=1}^N y_j}{y_i}}} \quad (3.6)$$

ve

$$\phi_{ij} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left(1 + \frac{M_i}{M_j}\right)^{-0.5} \left[1 + \left(\frac{M_j}{M_i}\right)^{0.25} \left(\frac{\mu_i}{\mu_j}\right)^{0.5}\right] \quad (3.7)$$

$$C_{p\,mix} = C_{p\,1}y_1 + C_{p\,2}y_2 + C_{p\,3}y_3 + C_{p\,4}y_4 + \dots \quad (3.8)$$

eşitlikleri ile hesaplanmıştır (Strehlow, 1985).

3.1.2 Uçucu Madde Çıkışı Bileşiminin ve Yanmasının Modellenmesi

Modellemede kömürün uçucu maddesini akışkan yatağın başından itibaren, kinetik olarak akışkan yatağa ilave oldukları kabul edilmiştir. Besleme noktasından itibaren gaz akımına katılan uçucu madde içindeki gazlar, (2.1) eşitliğine göre yatak içinde belirli bir yüksekliğe ulaşacaklardır. Yatağın başlangıcından itibaren bu süreye ulaşana kadar yatak üzerinde sıcaklıktan bağımsız olarak uçucu çıkışı gerçekleşmektedir. Uçucu maddenin yatakta ulaşacağı yükseklik Z_y ;

$$Z_y = N \left(\frac{RT}{P.A} \right) ad^n \quad (3.9)$$

Kömürün kısa analizinden yararlanarak uçucu madde bileşimini veren korelasyon ise;

$$\begin{aligned} X_{U_{CH_4}} &= 0.201 - 0.469X_{UM} + 0.241X_{UM}^2 \\ X_{U_{H_2}} &= 0.157 - 0.868X_{UM} + 1.388X_{UM}^2 \\ X_{U_{CO}} &= 0.428 - 2.653X_{UM} + 4.845X_{UM}^2 \\ X_{U_{CO_2}} &= 0.135 - 0.900X_{UM} + 1.906X_{UM}^2 \\ X_{U_{H_2O}} &= 0.409 - 2.389X_{UM} + 4.554X_{UM}^2 \end{aligned} \quad (3.10)$$

şeklindedir (Loison, Chauvin, 1964).

Uçucu madde bileşimi içinde yanabilen gazlar metan karbon monoksit ve hidrojenidir. Yapılan hesaplamalarda uçucu çıkışı ile yatak içine dağılan tüm tüm hidrojenin ani olarak yani denge halinde yandığı kabul edilmiştir. 4. bölümde denge ve kinetik halde yanma hakkında daha ayrıntılı bilgi verilmiştir. Hidrojenin oksijenle reaksiyonu denge kabulünün uygulanabileceği nadir yanma reaksiyonlarından biridir.

Metanın kinetik olarak yandığı basitleştirilmiş ifadeler:

A) Tek adımda yanma (Turns, 2000);



$$d[CH_4]/dt = -1.3E11 \exp(-24358/T) \cdot [CH_4]^{-0.3} [O_2]^{1.3} \quad (3.12)$$

$$d[CH_4]/dt = -8.3E8 \exp(-15098/T) \cdot [CH_4]^{-0.3} [O_2]^{1.3} \quad (3.13)$$

B) İki adımlı yanma (Srinivasan vd., 1998);



$$d[\text{CH}_4]/dt = -7\text{E}11 \exp(-30196/T) T \cdot y_{\text{CH}_4}^{-0.5} y_{\text{O}_2}^{1.5} \quad (3.16)$$

Karbon monoksit için kullanılan ifadeler (Hottel, 1965):



$$d[\text{CO}_2]/dt = -1.3\text{E}11 \exp(-15098/T) [\text{CO}_2][\text{O}_2]^{0.5} [\text{H}_2\text{O}]^{0.5} \quad (3.18)$$

$$d[\text{CO}_2]/dt = -1.194\text{E}8 \exp(-804.7/T) [\text{CO}_2][\text{O}_2]^{0.5} [\text{H}_2\text{O}]^{0.5} \quad (3.19)$$

3.1.3 Kömür Partikülünün Yanması

Kömür partikülünün yanması sırasında ilk olarak uçucu ayrılması gerçekleşir. Uçucu ayrılmasından sonra kalan katı kütle char olarak adlandırılır. Charın oksijenle reaksiyonu sonucunda oluşan ürünlerin bileşimi ve konsantrasyonu mekanizma faktörüne (Θ) bağlı olarak değişebilir.



Char, tanecik reaksiyon yüzeyine ve ortam sıcaklığına bağlı olarak ya karbon monoksite yada karbon dioksite kadar indirgenir. Küçük çaplı tanecikler için charın yanması ile meydana gelen karbon monoksit hızlı kütle transferi ile taneciğin dışına difüze olurken büyük çaplı taneciklerde kütle transferi daha yavaş olduğundan karbon monoksit charın sınır tabakası içinde yanar ve karbon monoksit difüze olur. Mekanizma faktörü, char tanecik çapının ve yatak sıcaklığının bir fonksiyonudur. Tanecik çapı (d), ile Θ 'in değişimi;

$$\Theta = (2 \cdot p + 2)/(p + 2) \quad d < 0.05 \text{ mm} \quad (3.22)$$

$$\Theta = \frac{(2 \cdot p + 2) - p(d \cdot 10^4 - 0.5)/9.5}{p + 2} \quad 0.05 \text{ mm} < d < 0.1 \text{ mm} \quad (3.23)$$

$$\Theta = 1 \quad d > 0.1 \text{ mm} \quad (3.24)$$

şeklinde (Ishida ve Wen, 1971). Modeldeki akışkan yatak sisteminde yakılan kömür partikül çapı 0.1 mm'den büyük olduğundan akışkan yatakta char yanması ile karbon monoksit oluşmadığı kabul edilmiştir.

Modelde, char yanması genellikle oksijene göre birinci dereceden ve tersinmezdir. Bunun

yanında 0.5 dereceden de ifade edilebilmektedir. Reaksiyon hızı, difüzyon ve kimyasal reaksiyon hızları dikkate alınarak bulunur. Reaksiyonlarda taneciğin dış yüzey alanına göre hesap yapılmış ve taneciklerin küresel olduğu kabul edilmiştir.

$$r = k_r \cdot C_s \quad (3.25)$$

Tanecik yüzeyindeki oksijen konsantrasyonu bilinemediğinden , reaksiyon hızında serbest akımın oksijen konsantrasyonu kullanabilecek değişiklikler yapılmalıdır. Tanecikteki oksijen tüketim hızı, oksijenin yüzeye difüzyon hızına eşit olacağından;

$$r = k_r \cdot C_s = k_d (C_\infty - C_s)$$

$$k_r \cdot C_s = k_d \cdot C_\infty - k_d \cdot C_s$$

$$k_r \cdot C_s + k_d \cdot C_s = k_d \cdot C_\infty$$

$$C_s = (k_d / (k_r + k_d)) \cdot C_\infty$$

Eşitliği ve buradanda,

$$K = k_r (k_d / (k_r + k_d)) \quad (3.26)$$

$$r = K \cdot C_\infty \quad (3.27)$$

eşitlikleri elde edilir (Reddy ve Sinha, 1997). Kinetik reaksiyon sabiti k_r için kullanılan eşitlikler:

A) Char yanmasının birinci dereceden yanma reaksiyonu kabulü ve T_s yüzey sıcaklığı olmak üzere;

$$k_r = 596 \cdot T_s \cdot \exp(-17967/T_s) \text{ (Rajan, 1980)} \quad (3.28)$$

$$k_r = 595 \cdot T_s \cdot \exp(-149220/(R \cdot T_s)) \text{ (Sriramulu vd., 1996)} \quad (3.29)$$

B)Char yanmasının 0.5. dereceden kabulü ile (Sriramulu vd., 1996);

$$k_r = 3.4E5 \cdot R \cdot T_s^{1/2} \exp(174220/R \cdot T_s) \quad (3.30)$$

Difüzyon hız sabiti (Brunello, 1996);

$$k_d = \frac{Sh \cdot \Theta \cdot D_{O_2-N_2}}{d} \quad (3.31)$$

$$Sh = 2 + 0.69 \cdot Re_c^{0.8} Sc^{0.33}$$

$$Re_c = U d \rho_g / \mu_{mix} \quad (3.33)$$

$$Sc = \frac{\mu_{mix}}{D_{O_2-N_2}} \quad (3.33)$$

$$D_{O_2-N_2} = 5.08E-9 T^{3/2} \quad (3.34)$$

Tek bir charın birim dış yüzey alanı için molar karbon tüketimi (kmol/m²s);

A) 1. derece reaksiyon için;

$$r = \frac{k_r k_d C_{O_2}}{k_r + k_d} \quad (3.35)$$

B) 0.5. derece reaksiyon için;

$$r = \frac{k_r \{ \sqrt{k_r^2 + 4k_d C_{O_2}} - k_r \}}{2k_d} \quad (3.36)$$

şeklinde verilmektedir. Reaksiyon hız sabitinin hesabında kullanılan char tanecik sıcaklığı ortamdaki gaz sıcaklığından daha yüksektir ve char taneciğinin ortam ile ısıl dengesinden yararlanarak hesaplanabilir.

$$Nu_c \lambda_{mix} (T_s - T) / d = r H \quad (3.37)$$

$$Nu_c = 2 + 0.6 Re_c^{0.5} Pr^{0.33} \quad (3.38)$$

$$Pr = C_{pmix} \mu_{mix} / \lambda_{mix} \quad (3.39)$$

3.1.4 Reaksiyon Isılarının Hesaplanması

Reaksiyon ısılarının hesaplanmasında sıcaklığın etkisi dikkate alınmıştır. Kullanılan eşitlik,

$$H_{1,T} = H_{298} + \int_{298}^T \Delta C_{p,1} dT \quad (3.40)$$

$$\Delta C_{p,1} = C_{p, ürünler,1} - C_{p, reaktanlar, 1} \quad (3.41)$$

Modellemede bulunan reaksiyonların 298 °C'deki yanma entalpileri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Yanma entalpileri (Perry ve Chilton, 1973)

| Bileşik | Yanma Entalpisi (kJ/kmol) |
|-----------------|---------------------------|
| Karbon | -110523 |
| Hidrojen | -285840 |
| Karbon monoksit | -282989 |
| Metan | 890346 |

3.1.5 Aktif Yataktaki Tanecik Miktarı

Aktif yatağın tamamında tanecik bulunmaktadır. Modelde aktif yatak içindeki tanecik miktarını bulmak için yatakta karbon dengesi kurulmuştur. Yatak içinde karbon birikmesi olmayacağından aktif yatağa beslenen kömürle gelen karbon yatakta tüketilen karbon miktarına eşit olacaktır. Model çalışmasında hesaplama yapılan her diferansiyel elemanında karbon tüketiminin sabit olduğu kabul edilmiştir.

$$[\text{dz kesit aralığında tüketilen karbon miktarı}] = [\text{Beslenen kömür miktarı}] \cdot [\text{Kömürün karbon bileşimi}] / [\text{Yatak boyu}] \quad (3.42)$$

3.1.6 Serbest Bölgeye Atılan Tanecik Miktarı

Gaz ve taneciklerin fiziksel özellikleri, akışkanlaşma hızı ve yatak yüksekliği yatağın hidrodinamik davranımını doğrudan etkiler. Yatağın çapı, dağıtıcı elek tipi ve yatak içine yerleştirilen soğutucu tüp gibi diğer unsurların ise yatağın hidrodinamik davranımı üzerinde az etkisi vardır. Serbest bölgeye taşınan ilk tanecikler yatağın hidrodinamik davranımı ile doğrudan ilişkili olduğundan yataktan taşınan katı taneciklerin miktarı yatağın çalışma şartlarına bağlıdır. Yoğun yataktan serbest bölgeye, kabarcığın patlaması ile atılan bir grup tanecik ya akışkan ile taşınarak bacadan dışarı atılır ya da serbest bölge içinde belli bir yüksekliğe kadar yükselir ve yatağa geri dönerler. Gaz ile taşınarak bacadan atılan katı taneciklere “atılan”, aktif yataktan fırlatılarak serbest bölge içinde saçılan taneciklere ise “taşınan” katı tanecikler adı verilir.

Modelde serbest bölge yüksekliği ile tanecik debisinin eksponansiyel olarak azaldığını kabul edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar göstermiştir ki; serbest bölge tanecik taşınması açısından serbest bölge yüksekliğine Z_{SB} , bağlı olarak üç farklı bölgeye ayrılır.

a) Saçılma bölgesi ($Z_{SB} < 0.3$)

b) Yoğun tanecilli bölge ($0.3 > Z_{SB} > 0.7$)

c) Seyrek tanecikli bölge ($0.7 > Z_{SB} > 1.5$)

Bütün bu yaklaşımlarda göz önüne alınarak serbest bölge içinde katı taneciklerin yüksekliğe bağlı olarak taşınma hızlarını veren çeşitli ifadeler elde edilmiştir (Wen ve Chen, 1982).

Serbest bölge çıkışındaki madde debisi F_{∞} ve serbest bölge başlangıç debisi F_0 olmak üzere belirli bir serbest bölge yüksekliğinde yukarı doğru yükselen tanecik debisi;

$$F_y = F_{\infty} + (F_0 - F_{\infty}) \exp(-a \cdot Z_{SB}) \quad (3.43)$$

Serbest bölgede aşağı doğru inen taneciklerin debisi;

$$F_a = (F_0 - F_{\infty}) \exp(-a \cdot Z_{SB}) \quad (3.44)$$

olarak ifade edilmiştir. Saçılma bölgesi için $a = 2$ 1/m, yoğun tanecikli bölge için $a = 11.8$ 1/m ve seyrek tanecikli bölge için $a = 4.3$ 1/m'dir.

Serbest bölgede mevcut tanecik miktarı, G ise;

$$G = \sum \frac{F_y}{U_y} + \sum \frac{F_a}{U_a} \quad (3.45)$$

(3.45) denkleminde bulunabilmektedir. Yatak minimum akışkanlaşma koşullarında çalıştığında U_y gaz hızına U_g eşit alınmış, U_a ise (3.46) eşitliğinden bulunmuştur.

$$U_a = U_g - U_{ter} \quad (3.46)$$

$$U_{ter} = 4 \cdot g \cdot d^3 (\rho_c - \rho_g)^2 / 225 \cdot \rho_g \cdot \mu_g \quad (3.47)$$

3.1.7 Kömürün Özelliklerinin Modellenmesi

Elementel analizi bilinen bir kömür için yoğunluk ve spesifik ısısı;

$$\rho_c = 1534 - 51.96 E_h + 7.375 E_o - 24.72 E_n + 3.853 E_s \quad (3.48)$$

$$C_{p,c} = 0.139 E_c + 0.874 E_h + 0.491 E_n + 0.36 E_o + 0.215 E_s \quad (3.49)$$

Külün spesifik ısısı ise 0,66-0.71 kJ/kg.K arasında değişmektedir (Speigh, 1994).

3.2 Model Denklemleri

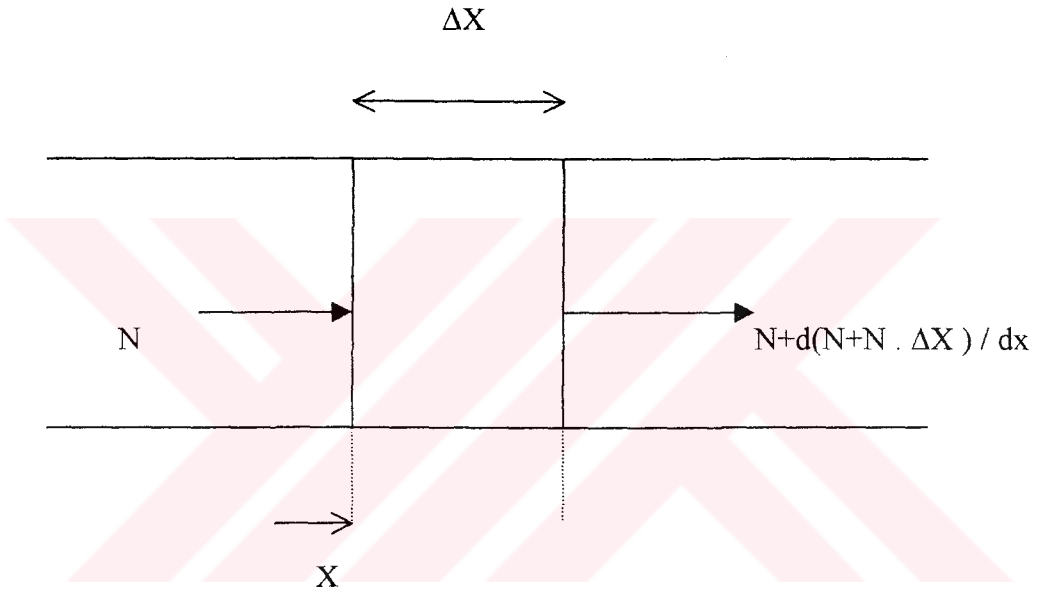
Aktif yatak ve serbest bölgede kurulan denge denklemlerinde gaz fazı dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Charın yanması ile gaz ortamından çekilen ve gaz ortamına ilave

edilen bileşenler ve miktarları ise kaynak terimi olarak hesaplamaların yapıldığı aralığa ilave edilmiştir.

3.2.1 Aktif Yatak Model Denklemleri

3.2.1.1 Aktif Yatak İçin Kütle Dengeleri

Gaz karışımını oluşturan bileşenler için molar kütle dengesi ve tüm kütle dengesi, dağılı parametrelili sistemlere klasik yaklaşım tarzı olan eksen üzerinde çok küçük bir dx kalınlığındaki kesit göz önüne alınarak yapılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Boru tip reaktörlerde tüm kütle ve bileşen dengesi için diferansiyel hacim elemanı

Toplam molar akış debisi N (kmol/s) ise, karışım içindeki i nolu bileşen için denge:

$$[\text{Diferansiyel kesite giren mol miktarı}] + [\text{Diferansiyel kesit içinde üretilen mol miktarı}] =$$

$$[\text{Diferansiyel kesitten çıkan mol miktarı}] \quad (3.50)$$

ve

$$N \cdot y_i \pm r \cdot A \cdot dx = (N \cdot y_i + d(N \cdot y_i)) \quad (3.51)$$

şeklindedir. Bileşen üretiliyorsa $+ r \cdot A \cdot dx$ alınır. Bileşen tüketiliyorsa $- r \cdot A \cdot dx$ alınır.

Burada A diferansiyel kalınlıklı kesitin alanıdır ve boru reaktörünün çapı D (m) ise

$$A = \frac{\pi.D^2}{4} \quad (3.52)$$

alınır. 3.51 denklemini tüm kütle dengesi olarak yazılmak istenirse

$$d(N) = \pm \sum r_i \cdot A \cdot dx \quad (3.53)$$

sonucunu verir. Buradan i bileşeni için mol dengesi;

$$\frac{d(Ny_i)}{dx} = \pm r_i A \quad (3.54)$$

$$y_i \frac{dN}{dx} + N \frac{dy_i}{dx} = \pm r_i A \quad (3.55)$$

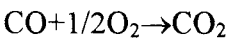
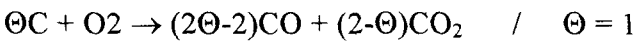
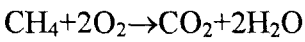
$$\frac{dy_i}{dx} = \frac{\left(\pm r_i A - y_i \frac{dN}{dx} \right)}{N} \quad (3.56)$$

olarak elde edilir.

Yukarıda oluşturulan denklemler sırasıyla tüm kütle, azot, oksijen, karbon monoksit, karbon dioksit, metan, su, kükürt dioksit ve azot oksit için yazılacaktır.

3.2.1.1.1 Tüm Kütle Dengesi

Akışkan yatak içinde meydana gelen temel (2.2), (2.3), (2.7) ve (3.11) reaksiyonlardan sadece karbon monoksitin yanma reaksiyonu eşit mol giriş ve çıkışı olmayan reaksiyondur. Tüm kütle dengesinde yalnızca karbon monoksitin değişimi önemlidir.



$$\frac{dN}{dx} = -r_{\text{CO}} A \quad (3.57)$$

3.2.1.1.2 Azot Dengesi

Azot gazını ortanda tüketen veya üreten reaksiyonu yoktur.

$$\frac{dy_{N_2}}{dx} = \frac{-y_{N_2} \frac{dN}{dx}}{N} \quad (3.58)$$

3.2.1.1.3 Oksijen Dengesi

Ortamdaki oksijen; metan, karbon monoksit ve karbon yanması ile tüketilir. Homojen faz reaksiyonları olan metan ve karbon monoksit yanması diferansiyel eleman içinde hesaplanmış, heterojen reaksiyon olan karbon yanması ise sayısal olarak çözüm yapılan ΔZ aralığı sonunda çıkış bileşimine ilave edilmiştir.

$$\frac{dy_{O_2}}{dx} = \frac{\left(-2r_{CH_4}A - \frac{r_{CO}A}{2} - y_{O_2} \frac{dN}{dx} \right)}{N} \quad (3.59)$$

3.2.1.1.4 Karbon Monoksit Dengesi

Ortandaki karbon monoksit, uçucu çıkışı ile ortama verilir ve yanma reaksiyonu ile tüketilir.

$$\frac{dy_{CO}}{dx} = \frac{\left(-r_{CO}A - y_{CO} \frac{dN}{dx} \right)}{N} \quad (3.60)$$

3.2.1.1.5 Karbon Dioksit Dengesi

Karbon dioksit; metan, karbon monoksit ve karbon yanması sonucunda yanma ürünü olarak açığa çıkar. Diğer taraftan kömürün uçucularının ayrılması ile uçucu maddeleri oluşturan gazlar arasındaki bulunan karbon dioksitte gaz akımına verilir. Karbon yanması ile üretilen miktar ise ΔZ aralığı sonunda çıkış bileşimine ilave edilmektedir.

$$\frac{dy_{CO_2}}{dx} = \frac{\left(r_{CH_4}A + r_{CO}A - y_{CO_2} \frac{dN}{dx} \right)}{N} \quad (3.61)$$

3.2.1.1.6 Metan Dengesi

Uçucu maddeler ile ortama verilen metan kömür besleme noktasında gaz bileşimine katılır ve ortamdaki oksijen ve metan konsantrasyonuna bağlı olarak kinetik mekanizma ile yanar.

$$\frac{dy_{CH_4}}{dx} = \frac{\left(-r_{CH_4}A - y_{CH_4} \frac{dN}{dx} \right)}{N} \quad (3.62)$$

3.2.1.1.7 Su Dengesi

Akışkan yatak ortamındaki su buharı; kömürün içerdiği nemden ve uçucu madde bileşiminden kaynaklanıyorsa tamamı kömür besleme noktasında gaz akımına ilave olmaktadır. Metan yanması sonucu oluşan su buharı ise besleme noktasından itibaren açığa çıkarak gaz akımına katılmaktadır.

$$\frac{dy_{H_2O}}{dx} = \frac{\left(2r_{CH_4}A - y_{H_2O} \frac{dN}{dx}\right)}{N} \quad (3.63)$$

3.2.1.1.8 Kükürt Dengesi

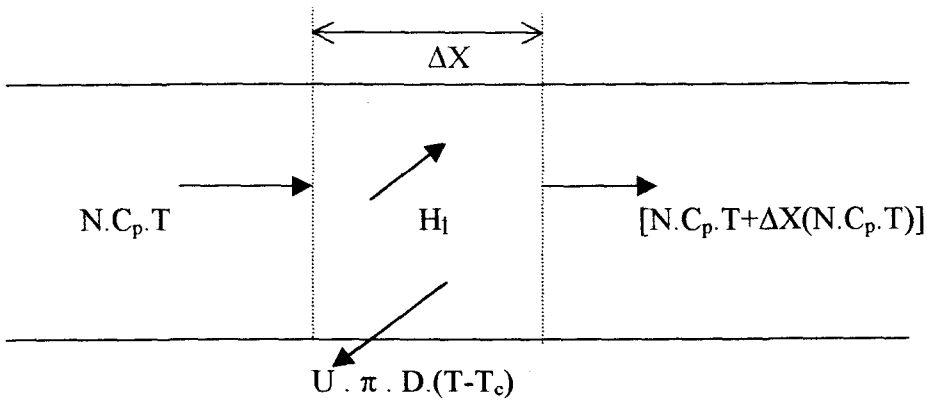
Kömür içindeki kükürt yanarak kükürt dioksit meydana getirir. Kok yanması ile açığa çıkan kükürt miktarı dz diferansiyel kesit alanında yanan karbon miktarı ile doğru orantılı olduğu kabul edilmiştir.

3.2.1.1.9 Azot Oksit Dengesi

Kükürt dengesinde olduğu gibi yatak içindeki dz kesit alanında yanan azot oksit miktarı yanan karbon miktarı ile doğru orantılıdır.

3.2.1.2 Aktif Yatak Enerji Dengesi

Boru tip reaktör için enerji dengesi, yine sonsuz küçük dx kalınlığındaki bir kesit göz önüne alınarak bulunabilir. Bu sonsuz küçük hacim elemanı içerisinde hem ekzotermik reaksiyonlar ile ısı üretilecek, hem de hacim elemanının cidarından dışarıdaki soğuk ortama ısı kaybedilecektir. Isı kaybedilen hava sıcaklığı T_c 'dir ve yakma sistemindeki potansiyel ve kinetik enerji terimleri ihmal edilebilir. Şekil 3.2'de sistem için diferansiyel hacim elemanı görülmektedir.



Şekil 3.2 Boru tip yatak sistemi için diferansiyel hacim elemanı

Enerji dengesi eşitlikleri yazılırsa;

Kütle akışından ötürü x sınırından hacim elemanına giren ısı enerjisi;

$$N \cdot C_p \cdot T \quad (3.64)$$

Ekzotermik reaksiyondan ötürü hacim elemanı içerisinde üretilen ısı enerjisi;

$$r_i \cdot A \cdot H_i \cdot dx \quad (3.65)$$

Kütle akışından ötürü $x+dx$ sınırından hacim elemanından çıkan ısı enerjisi;

$$N \cdot C_p \cdot T + \Delta X \cdot (N \cdot C_p \cdot T) \quad (3.66)$$

Hacim elemanı cidarından dış ortama transfer edilen ısı enerjisi;

$$Q \cdot \pi \cdot D \cdot dx \quad (3.67)$$

Yukarıdaki analiz sonucu diferansiyel hacim elemanı üzerinde enerji dengesi şu şekilde elde edilir.

$$N \cdot C_{p \text{ mix}} \cdot T - r_i \cdot A \cdot dx \cdot H_i = N \cdot C_{p \text{ mix}} \cdot T + d(N \cdot C_{p \text{ mix}} \cdot T) + Q \cdot \pi D \cdot dx \quad (3.68)$$

Denklemdaki Q dışarıya kaybedilen ısı debisi ($\text{kJ/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}$) genel olarak;

$$Q = h_{\text{top}} \cdot (T - T_c) \quad (3.69)$$

şeklinde bir denklemle ifade edilir. Burada h_{top} ($\text{j/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$) boyutunda akışkan yataktan dış havaya olan tüm ısı iletim katsayısıdır.

Diferansiyel enerji dengesi düzenlenecek olunursa;

$$d(N \cdot C_{p \text{ mix}} \cdot T) / dx = r_i \cdot A \cdot H_i - h_{\text{top}} \cdot \pi \cdot D \cdot (T - T_c) \quad (3.70)$$

denklemini elde edilir.

Genel olarak ifade edilen enerji dengesi modellenen akışkan yatağa uygulanırsa;

a) Yataktaki reaksiyonlar : Karbon, metan, karbon monoksit yanmasıdır.

b) Yataktaki Toplam Isı İletim Katsayısı

b1) Yanmanın gerçekleştiği ortam için ısı iletim katsayısı

Yanmanın gerçekleştiği iç ortamdan cidarlara olan ısı kaybına iki temel komponent neden olur : Bunlar sıcak char tanelerinin ve gazın yüzeye temasıdır. Sıcak bir char partikülü kısa bir

süre içinde yüzeye temas eder ve ayrılır. Aynı hareket akışkan yatakta yeni partiküller tarafından sürekli olarak tekrarlanır. Partiküllerin cidara teması mikroskobik seviye küçük bir alandadır. Partiküller ve gaz temasın tarafından meydana getirilen maksimum ısı transfer katsayısı için matematiksel bağıntı;

$$h_{\max} = 35.8 \cdot \rho_c^{0.2} \cdot \lambda_{\text{mix}}^{0.6} \cdot d^{-0.36} \quad (3.71)$$

şeklinde ifade edilmektedir. h_{\max} değerinin %70'i genellikle iç ortam ısı transfer katsayısı olarak kullanılır (Howard, 1989).

b2) Yatak malzemesinin ısı transfer katsayısı

Modelde kullanılan malzeme paslanmaz çelik olup ısı transfer katsayısı 43 W/mK olarak alınmıştır.

b3) Dış ortam ısı transfer katsayısı

Yatak malzemesinin dış kısmından ısıyı doğal taşınım ve ışıınım yoluyla kaybeder. Doğal taşınım için kullanılan eşitlik,

$$h_{\text{Dogal}} = 1.32 \left(\frac{T_{\text{disortam}} - T_{\text{yüzey}}}{L} \right)^{0.25} \quad (3.72)$$

Silindirik yapılu yataklarda ışıınım ile kaybedilen ısı debisi için kullanılan eşitlik ise;

$$Q = \frac{5.67E - 8(T_{\text{yüzey}}^4 - T_{\text{disortam}}^4)}{\frac{1 - \alpha}{\alpha A} + \frac{1}{A}} \quad (3.73)$$

Akışkan yatak için toplam ısı transfer katsayısı ise,

$$\frac{1}{h_{\text{top}}} = \frac{1}{h_{\text{DIŞ}}} + \frac{\Delta D_{\text{cidar}}}{k_{\text{malzeme}}} + \frac{1}{h_{\text{iç}}} \quad (3.74)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Boru tip reaktör için yazılan genel ifade (3.70) eşitliğine uygulandığında elde edilen denklem;

$$d(N \cdot C_{p \text{ mix}} \cdot T)/dx = r_{\text{co}} \cdot A \cdot H_{\text{CO}} + r_{\text{co}} \cdot A \cdot H_{\text{CH}_4} + M_{\text{tüük}} \cdot \Delta X/L \cdot A \cdot H_C - h_{\text{top}} \cdot \pi \cdot D \cdot (T - T_c) \quad (3.75)$$

halini alır. $M_{\text{tüük}} \cdot \Delta X/L$ terimi birim X boyunda tüketilen karbon miktarıdır ve toplam yatakta tüketilen miktarın toplam yatak boyuna bölünmesi ile bulunur.

3.2.2 Serbest Bölge Model Denklemleri

3.2.2.1 Serbest Bölge Kütle Denklemleri

Serbest bölgedeki tüm denklemler aktif yataktakilerin aynısıdır ve serbest bölge giriş koşulları aktif yatağın bittiği noktadaki koşullardır.

3.2.2.2 Serbest Bölge Enerji Denklemleri

Aktif yatakta bulunan enerji eşitliği serbest bölge içinde geçerlidir. Serbest bölge aktif yatağa seri olarak bağlı ve devamıdır.

3.3 Model Denklemlerinin Çözüm Metodu

3.3.1 Sınır Şartları

Aktif yatağa giren havanın kompozisyonu mol bazında %79 azot ve %21 oksijen olarak alınmıştır. Diğer bileşenler ihmal edilmiştir. Havanın yatağa 25 °C de beslendiği ve yatak başlangıç sıcaklığı ise 477 °C olduğu kabul edilmiştir. Serbest bölge için giriş değerleri aktif yatak çıkış değerleridir.

Yatak malzemesi yatağa baştan ilave edilmekte ve akışkan yatağın sürekli çalışması içinde beslenmediği ve yataktan atılmamaktadır.

Yatağa beslenen kömürün içeriğindeki nem ve uçucu maddenin yatağın başlangıcından itibaren kinetik biçimde açığa çıktığı ve kinetik olarak yandığı kabul edilmiştir.

Yatağa beslenen kömür yatak içinde homojen olarak dağılmakta ve kömür yanması sonucu oluşan kül yatağı yatak sıcaklığında terk etmektedir.

3.3.2 Çözüm Metodu

Yatak için tanımlanan çok sayıdaki diferansiyel denklemin sayısal çözümünde birinci derece yöntem (basit euler yöntemi) kullanılmıştır. N adım olmak üzere;

$$\frac{dx}{dy} = f(x, y) \quad (3.74)$$

formundaki adi diferansiyel denklemler;

$$x_{n+1} = x_n + f(x_n, y_n) \cdot \Delta y \quad (3.75)$$

şeklinde çözülmektedir .Belirli bir noktadaki gerçek x değeri ile hesaplanan x değeri arasındaki farka “kesme hatası” adı verilir. Basit euler yönteminde kesme hatası Δy aralığının birinci kuvveti ile doğru orantılıdır. Bunun anlamı Δy ne kadar küçük seçilirse, yaklaşım değerinin gerçek değere o kadar yaklaşıcağıdır. Modelde Δy aralığı 1mm ve 0.1 mm olarak seçilmiş ve büyük bir farkın oluşmadığı (%0.1) görülmüştür. Model için 1mm’lik adım aralığı seçilmiştir. Ek 1’de basic’te yazılmış olan bilgisayar programı görülmektedir.

3.4 Modelin Uygulanması

Akışkan yatak yakma sistemi için hazırlanan model ile TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü Akışkan Yatak Labaratuvarındaki akışkan yatakta yapılan deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Düzenek sürekli kömür besleyerek yakmayı sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır.

3.4.1 Modellenen Deney Düzeneginin Tanıtılması

İçinde yakma işlemi gerçekleştirilen elek başlıca üç kısımdan oluşmaktadır.;

Rüzgar odası,

Dağıtıcı elek,

Yanma odası ve serbest bölge.

Yukarıdaki bölümler ve ölçüleri Çizelge 3.4’de verilmiştir. Bu bölümlerin işlevleri aşağıda açıklanmıştır.

3.4.1.1 Rüzgar Odası

Ön ısıtma sırasındaki LPG-hava karışımının yatağa homojen olarak beslenmesini sağlar.

3.4.1.2 Dağıtıcı Elek

Rüzgar odası ile yanma odası arasındaki bu parça, yatak malzemesini taşır. Aynı zamanda LPG-hava karışımının homojen bir şekilde dağılmasını sağlar. 170 cm çaplı bu plaka paslanmaz çelikten yapılmıştır. Üzerindeki 1mm çapındaki deliklerin toplam yüzeye oranı %4’dür.

3.4.1.3 Yanma Odası ve Serbest Bölge

Toplam 1200 mm yüksekliğindeki iki ayrı parça, yanma odası ve serbest bölge olarak görev yapmaktadır. 300 mm yüksekliğindeki ilk parça, arada dağıtıcı elek olmak üzere, rüzgar odasına flanşla bağlanmıştır. Bu kısım 150 mm çaplı ve 5 mm et kalınlığında silindirik borudur.

900 mm yüksekliğindeki ikinci kısım serbest bölge olarak adlandırılmaktadır. Bu kısım yatak yüksekliğini arttırarak taşınmayı önlemek için yapılmıştır. Bu bölge çapı 220 mm'dir. Serbest bölge çapının aktif yatağa göre büyük olması, baca gazlarının yatakta daha uzun kalmasını sağlamaktadır (Çubuk, 1999).

Çizelge 3.4 Akışkan yatağın ölçüleri (Çubuk, 1999)

| | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| Dağıtıcı elek çapı | 170 mm |
| Elekteki delik çapı | 1 mm |
| Elekteki delik sayısı | 892 |
| Elek boşluk oranı | %4 |
| Elek malzemesi | Krom paslanmaz çelik |
| Yanma odası çapı | 150 mm |
| Yanma odası yüksekliği | 300 mm |
| Serbest bölge çapı | 220 mm |
| Serbest bölge yüksekliği | 900 mm |
| Yatak malzemesi | Çelik, 5mm |
| Isıl çiftlerin konumu | 25, 65, 110, 185, 450, 1160 mm |
| Gaz ölçüm yeri | 1160 mm |
| Yatak malzemesi | Kuartz kumu |
| Yatak malzemesi tane büyüklüğü | 0.5-1 mm |

3.4.2 Deney Çalışma Şartları

Deney düzeneği atmosferik basınçta çalışmaktadır. 2.709 kg/h debisinde kömür akışkan yatağın alt kısmından beslenmektedir. Yatağa beslenen havanın debisi ise 12 m³/h'dir. Dış hava sıcaklığı 25 °C alınmıştır. Hava fazlalık katsayısının 1.2 olduğu durumda çalışılmaktadır. Yatağa beslenen kömür tanecikleri 1-2 mm arasındadır. Yatak çalışma sıcaklığı 850 °C

olarak alınmıştır. Deneyde kullanılan Orhaneli linyitinin kısa analiz ve elementel analiz değerleri Çizelge 3.5'tedir.

Çizelge 3.5 Orhaneli linyitinin analiz değerleri (Çubuk, 1999)

| Kısa Analiz | | | | Elementel Analiz | | | | | |
|-------------|--------------|------|------|------------------|----------|---------|------|--------|-------|
| Uçucu Madde | Sabit Karbon | Kül | Nem | Karbon | Hidrojen | Oksijen | Azot | Kükürt | Kül |
| 30 | 22.5 | 21.8 | 25.7 | 50.70 | 4.27 | 20.43 | 0.50 | 1.65 | 22.57 |

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Düşük kaliteli linyitlerin akışkan yatakta yakılması sırasında gerçekleşen temel prosesler;

- a)Uçucu çıkışı
- b)Uçucu yanması
- c) Char yanması

Akışkan yatağın modellenmesinde charın yatak içinde homojen yandığı kabulü yapıldığından akışkan yatak içinde belirlenmesi gereken en önemli parametre uçucu çıkışı ve yanmasıdır. Uçucu yanması; homojen gaz-gaz reaksiyonu, char yanması ise heterojen gaz-katı reaksiyonudur. Düşük kaliteli linyitlerin en önemli özellikleri, ısı değerinin düşük ve bu ısı değerinin önemli bir kısmının uçucu madde içinde yanabilen bileşenlerden kaynaklanmasıdır. Kömür taneciğinden uçucunun çıkışı, yatak sıcaklığının ve tanecik çapının bir fonksiyonudur ve serbest bölgeyi de içerebilmektedir. Mevcut uçucu çıkış kabulleri;

- a)Uçucu çıkışı besleme noktasında ve ani gerçekleşmektedir.
- b)Uçucu çıkışı tüm yatak boyunca homojen olarak gerçekleşmektedir.

Kimyasal bir olay olan uçucu yanması iki temel yaklaşımla analiz edilebilir. Bunlar termokimyasal denge veya kısaca denge kabulü ile çözüm ve kinetik çözümlerdir. Şimdiye kadar yapılan çalışmaların pek çoğu uçucu maddeyi yukarıda belirtilen uçucu çıkış kabullerine bağlı kalarak denge halinde yakmışlardır. Denge kabulünde ortamdaki yanabilir her yakıt molekülünün oksijenle buluşup reaksiyona girmesi için gerekli sonsuz sürenin var olduğu veya reaksiyon hızlarının sonsuz olduğu dolayısıyla yanmanın sonsuz küçük bir zaman aralığında gerçekleştiği kabul edilir. Denge halindeki kabullerin geçerliliği, uygulamada sınırlıdır. Ancak çok hızlı cereyan eden, hidrojen-oksijen yanması gibi hallerde gerçekçi çözümler verir. Denge çözümleri yanma olayında ulaşılabilecek son durumu ifade etmesi bakımından önemlidir.

Yanma olayı eş zamanlı olarak meydana gelen bir kimyasal reaksiyonlar bütünüdür. Artarda gerçekleşen pek çok reaksiyonun bir aşamasında ürün olarak ortaya çıkan bir bileşen, hemen sonra bir başka reaksiyona girerek, farklı bir bileşene dönüşebilir. Gerçekleşen bütün bu reaksiyonlar belirli ve birbirinden farklı hızlara sahiptirler. Bazıları çok hızlı bazıları ise ihmal edilebilecek kadar yavaştır.

Denge bir anlamda yanma kimyasında ulaşılmak istenen son durum olarak düşünülebilir.

Burada sistemin reaktivitesi dikkate alınmadığından, bu son duruma nasıl ve hangi hızla geldiği bilinmemektedir. Pratikteki yanma olaylarında, gazların boru tip yataklarda kalma süreleri sınırlıdır. Dolayısıyla denge kabulü ile pratik yanma olaylarının incelenmesi mümkün değildir. Burada, zamana bağlı olarak değişimi veren ve reaksiyon mekanizmasını içeren reaksiyon kinetiği büyük önem taşımaktadır.

Matematiksel modelde kinetik halde yanma kullanılmış olup sistemi tanımlayabilmek için gerekli olan uçucu çıkış varsayımı öncelikli olarak mevcut kabuller olarak modele uygulanmış daha sonra ise daha uygun bir uçucu çıkış varsayımı bulunmaya çalışılmıştır.

Modellenen TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü Akışkan Yatak Laboratuvarındaki akışkan yatak ısı çekişli değildir aynı zamanda aktif yatağa yalıtım uygulanmamıştır. Serbest bölgede ise 1 cm'lik cam yünü ile yalıtım yapılmıştır. Aktif yatak ve serbest bölge taşınım ve ışınlam ile çevreye ısı kaybetmektedir.

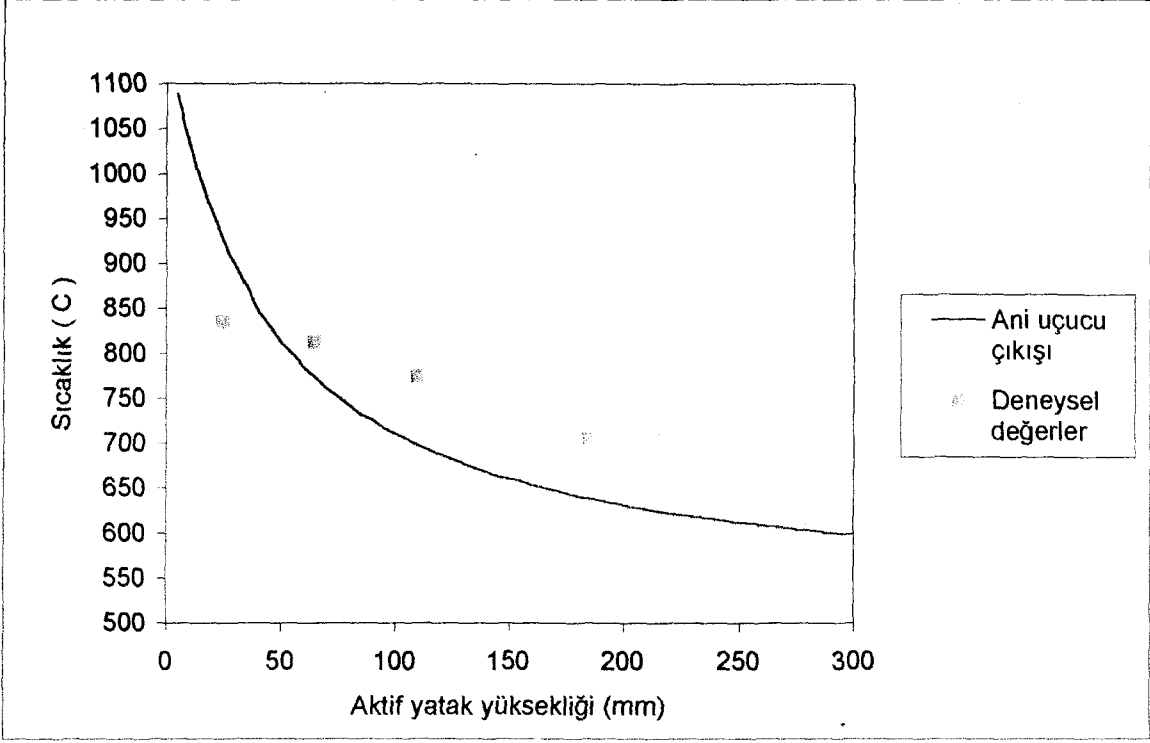
Oluşturulan matematiksel modelin özelliği serbest bölge için tanımlanan modelin aktif yatağı kapsayacak şekilde uzatılmasıdır. Deneysel çalışmalarda kullanılan gaz hızının minimum akışkanlaşma hızına yakın olması aktif yatağın iki fazlı karakterinin (yoğun ve kabarcık) tek fazlı (yoğun) olarak kabul edilebilmesine ve böylece aktif yatağın serbest bölgenin bir parçası olarak kabul edilebilmesini sağlamıştır.

Bilinen uçucu çıkış kabulleri matematiksel modelde denenecek olunursa;

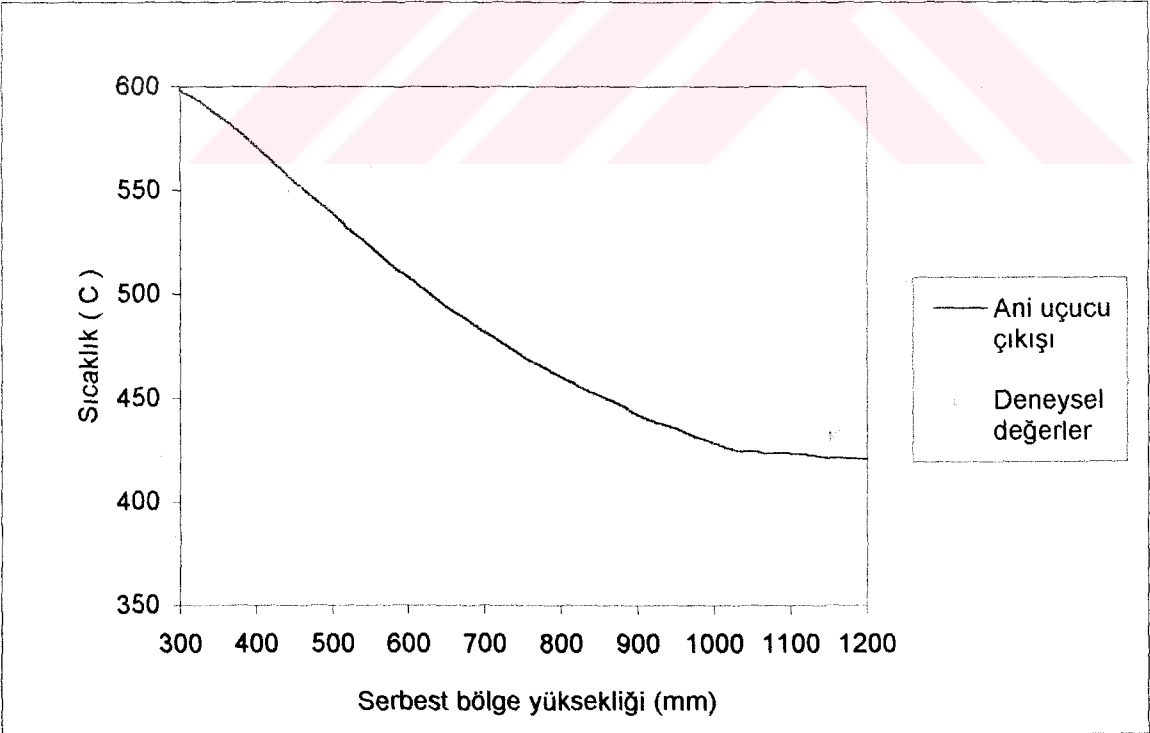
a) Uçucu çıkışı ani olarak kömür besleme noktasında meydana gelmekte:

Bu durumda elde edilecek sıcaklık eğrisi Şekil 4.1'dedir. Şekilden de görüldüğü gibi uçucunun ve oksijen konsantrasyonunun başlangıçta yüksek olması sıcaklığın yatak başlangıcında çok yüksek olmasına neden olmuştur. Deneysel olarak yatağın tabanından 25 mm yükseklikte ölçülen sıcaklık 834 °C iken modelleme de elde edilen sıcaklık 926 °C'dir. Aktif yatak başlangıcında uçucunun çok büyük bir kısmının yanması ve ısı kayıplarının artması nedeni ile aktif yatağın üst kısımlarına doğru ise modeldeki sıcaklık değerleri hızla düşmekte ve deneysel ölçüm değerlerinin çok altında kalmaktadır.

Serbest bölgenin model sıcaklık değerleri Şekil 4.2'de görülmektedir. Deney ölçüm değerleri ile model değerleri bu bölgede birbirine yakındır. Serbest bölgedeki reaksiyonların nispeten az olması nedeni ile serbest bölge sıcaklıklarında modelle deneysel değerler arasında büyük bir farklılık görülmemektedir.



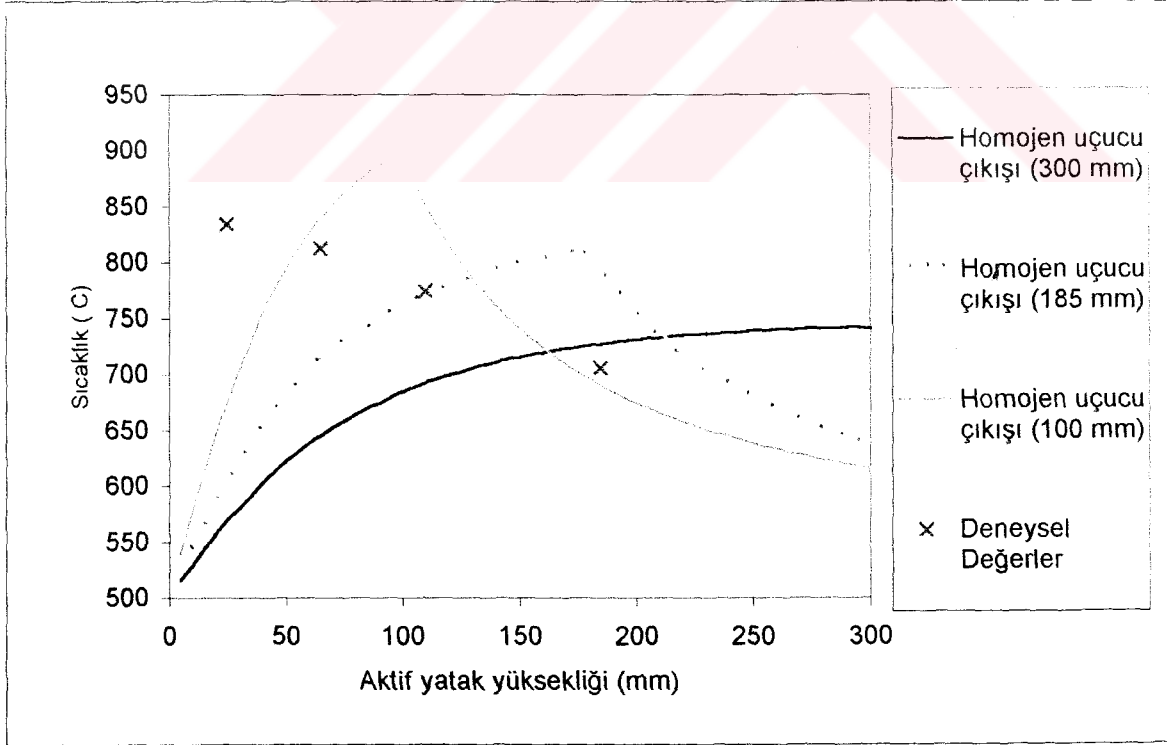
Şekil 4.1 Ani uçucu çıkışı ile aktif yatak yüksekliğine bağlı olarak yatak sıcaklığı



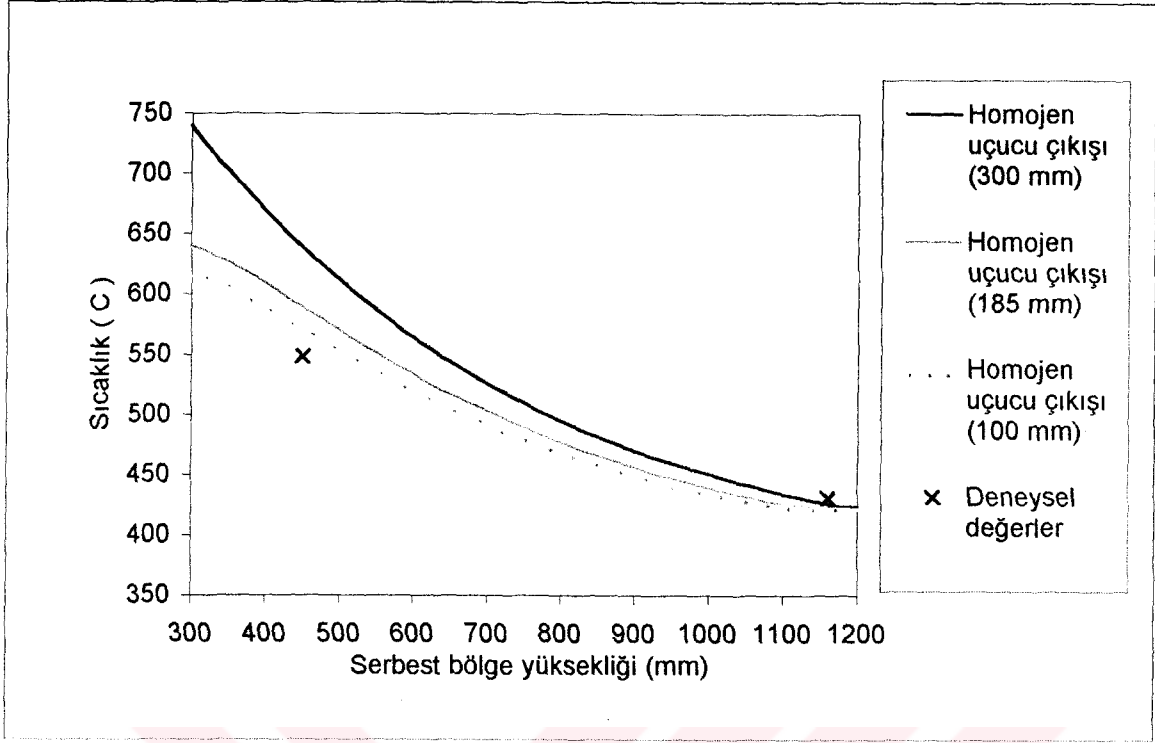
Şekil 4.2 Ani uçucu çıkışı ile serbest bölge yüksekliğine bağlı olarak yatak sıcaklığı

b) Uçucu çıkışı yatak içine homojen dağılmakta;

Bu varsayımda uçucu çıkışının aktif yatağın belirli yüksekliklerine kadar devam ettiği ve bu noktaya kadar çıkışın homojen gerçekleştiği kabul edilmektedir. Model üç farklı nokta için denenmiştir. Bunlar yatağın tabanından itibaren 300-185-100 mm yani yatağın başlangıcından itibaren tamamı, 2/3 ve 1/3'dür. Şekil 4.3'te sıcaklık değerleri görülmektedir. Uçucu çıkışının yatağın tamamına yayıldığı durumda model sıcaklıkları sürekli artma eğilimi göstermektedir. Bu yükselme yatağın alt kısımlarında büyük, yatağın üst kısımlarında ise daha azdır. Uçucunun çıkışının 185 ve 100 mm'ye yayıldığı durumda ise aktif yatak sıcaklıkları pikler vererek azalmaktadır. Pik verilen noktalar uçucu çıkışının bittiği noktalardır. Uçucu çıkışının 100 mm'ye yayıldığı durum için verilen pik sıcaklığı 898 °C gibi deneysel ölçüm değerlerin çok üzerinde bir değer iken uçucu çıkışının 185 mm'ye yayıldığı durum için pik değeri 811 °C'dir. 811 °C yatak sıcaklığı için normal bir değer olmasına karşın bu değer yatağın çok üst noktalarında elde edilmektedir. Serbest bölge için model sıcaklık değerleri Şekil 4.4'te görülmektedir. Serbest bölgeye giriş sıcaklığı çok yüksek olan, uçucu çıkışının 100 mm'ye yayıldığı durum dışında serbest bölge sıcaklık değerleri ile deneysel değerler arasında önemli bir farklılık yoktur.



Şekil 4.3 Homojen uçucu çıkışı ile aktif yatak yüksekliğine bağlı olarak yatak sıcaklığı

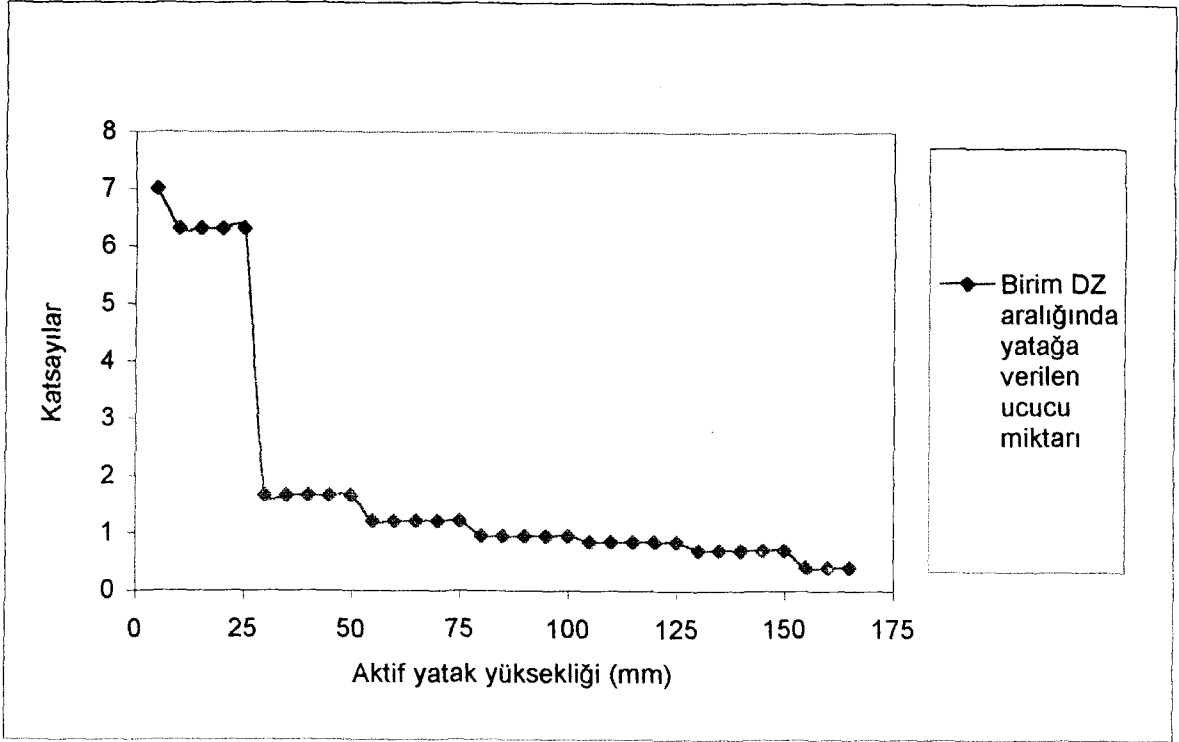


Şekil 4.4 Homojen uçucu çıkışı ile serbest bölge yüksekliğine bağlı olarak yatak sıcaklığı

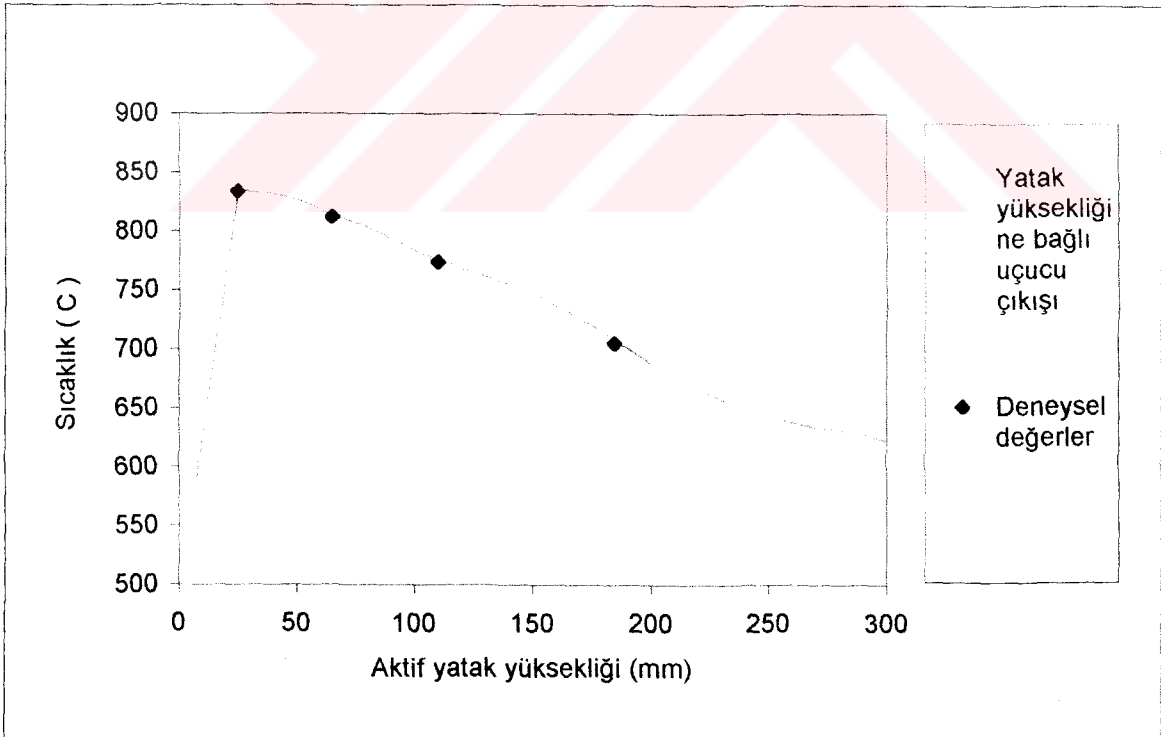
Şimdiye kadar yapılan uçucu çıkış kabullerinin gazların kinetik halde yanması durumuna uyum sağlamadığı görülmektedir. Uçucunun ani çıkması kabulü yatak içindeki sıcaklığın başlangıçta çok yükselmesine daha sonra ise hızla düşmesine neden olmaktadır. Uçucu çıkışının yatak içine homojen dağıldığı durumlarda ise yatak başlangıç sıcaklıkları deneysel değerlerin altında kalmaktadır. Bu noktadan sonra modele yeni bir parametre ilave edilerek bilgisayar programı çalıştırılmıştır. Bu parametre ile yatak 25 mm'lik kısımlara bölünmüş ve her kısım için uçucu çıkış değeri farklı tutulmuştur. Uçucu çıkış değerleri için gerekli temel ise uçucu çıkışının yatağın tamamına dağıldığı durum olmuştur. Bu durum için bilgisayarda hesaplama yapılan her 1mm'ye tüm uçucunun 1/300 oranında uçucu girişi olmaktadır. Temel olan 1/300'ün katları olarak her 25 mm'ye sabit uçucu çıkışı ilavesi olmaktadır.

c)Uçucu çıkışının yatak yüksekliğine bağlı olduğu durum;

Uçucu çıkışı mevcut modellerle 2 ekstremum değeri elde etmiştir. Aktif yatağın alt kısımlarında ya çok büyük sıcaklıklar (ani uçucu çıkışı), yada düşük sıcaklıklar (homojen uçucu çıkışı) elde edilmiştir. Modeldeki 25 mm'lik aralıklar için temel olan 1/300'ün çarpılacağı katsayı seçilirken bu bilgi dikkate alınmıştır. Denemeler sonucu elde edilen uçucu çıkış katsayıları Şekil 4.5'te görülmektedir. Şekil 4.6'da ise bu katsayıların kullanılması sonucu elde edilen aktif yatak sıcaklıkları elde edilmiştir.

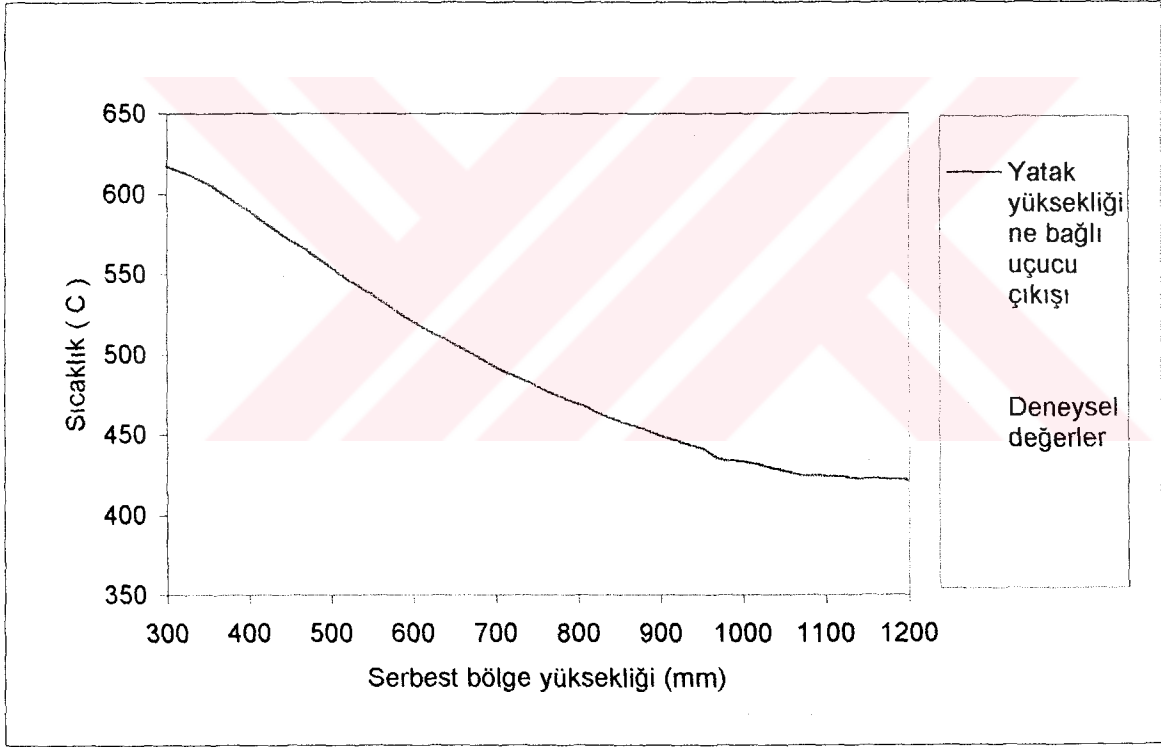


Şekil 4.5 Aktif yatak yüksekliğine bağlı olarak 1/300 temelin katları

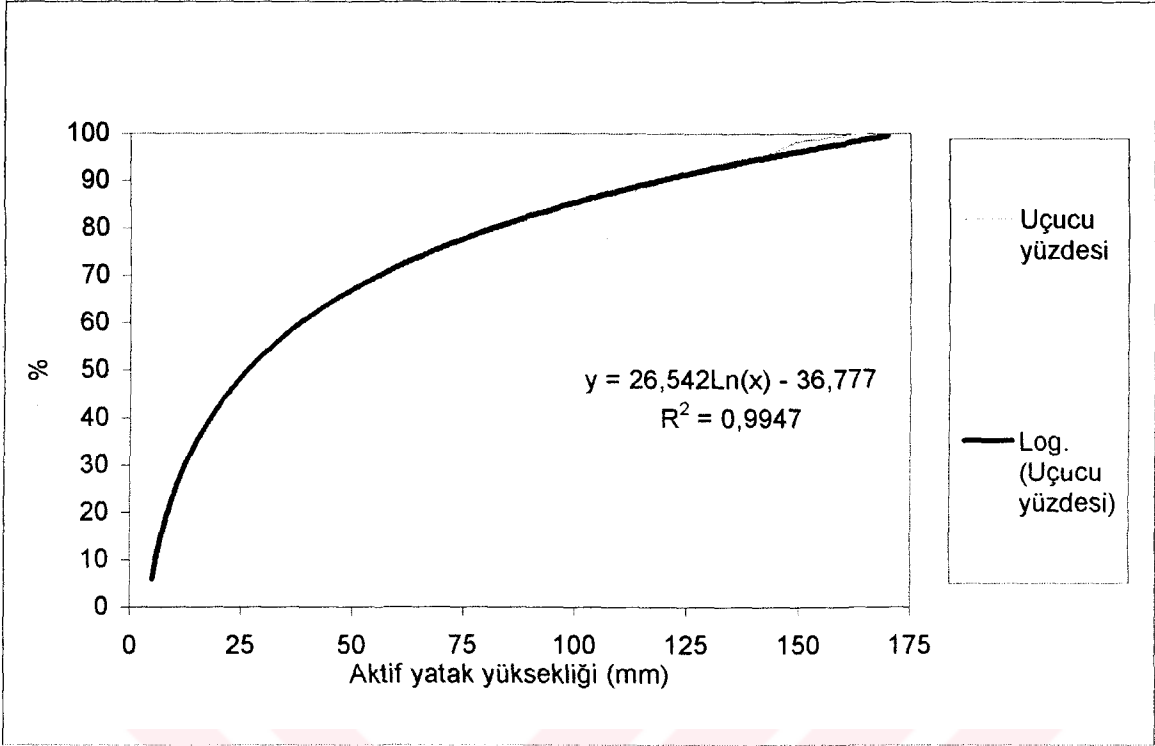


Şekil 4.6 Uçucu çıkışının yatak yüksekliğinin fonksiyonu olduğu durum için aktif yatak yüksekliği ile yatak sıcaklığının değişimi

Aktif yatak sıcaklıkları ile deneysel değerler arasında son derece iyi bir uyum görülmektedir. Serbest bölge sıcaklık dağılımı ise Şekil 4.7’de görülmektedir. Model değerleri ile deneysel değerler birbirlerine son derece yakındır. Yatak yüksekliğine bağlı olarak uçucu çıkış yüzdesi Şekil 4.8’de görülmektedir. Aynı zamanda yatak yüksekliğine bağlı olarak uçucu çıkış yüzdesini veren matematiksel bir ilişki aranmıştır. Denenen doğrusal, logaritmik, üstel, eksponansiyel ve polinomik eğriler içinde toplam çıkan uçucu yüzdesi için en iyi matematiksel ilişki logaritmiktir. Korelasyon değeri de $r = 0.9947$ gibi son derece yüksek bir değerdir. Logaritmik eğrinin denklemi Şekil 4.8 üzerinde görülmektedir. Uçucu çıkışının yatak yüksekliğine bağlı olduğu modelde tüm uçucu madde aktif yatağın tabanından itibaren 170mm yükseklikte bitmektedir ve ilk 25 mm içinde uçucu maddenin %52’lik bölümü gaz akımına katılmaktadır.



4.7 Uçucu çıkışının yatak yüksekliğinin fonksiyonu olduğu durum için serbest bölge yüksekliği ile yatak sıcaklığının değişimi



Şekil 4.8 Aktif yatak yüksekliğine bağlı olarak gaz akımına katılan toplam uçucu yüzdesi

Deneysel çalışmalar sırasında yalnızca çıkan baca gazında gaz ölçümü alınmıştır. Bu ölçüm değerlerinden önemli olanlardan karbon dioksit ve oksijen yüzdeleri (11-3) modele uyum sağlarken karbon monoksit yüzdesinde deneysel çıkış ve model arasında önemli fark oluşmuştur. Deneysel çalışmalarda 2500 ppm civarında karbon monoksit çıkışı görülürken model sonuçlarında bu değer yüzde 0.001 gibi düşük bir değerdir. Bunun iki temel nedeni olabilmektedir. Bunlardan birincisi düşük sıcaklıklarda (≈ 500 °C) karbon monoksit yanması olmamasına karşın kinetik ifadelerle karbon monoksit yanmaya devam edebilmektedir. Bu özellikle serbest bölgenin üst kısımlarında meydana gelmektedir. İkincisi ise kömür tanecik çapı her ne kadar karbon monoksit oluşumuna izin vermeyecek büyüklükte olmamasına karşın yatakta küçük boyutlu parçacıklar bulunabilmektedir.

KAYNAKLAR

Atımtay, A., (1979), Akışkanlaştırılmış Yataklarda Linyit Kömürlerinin Yakılması, Doçentlik Tezi, İTÜ.

Baron, R.E., Hodges, L.L., Sarofim, A.F., (1978), A.I.Ch.E. Symposium Series, 74 No. 176, 120-125.

Brunello, S., Flour, I., Bruyet B., Maissa, P., (1996), "Kinetic Study of Combustion in a Fluidized Bed", Fuel, 75, 536-544.

Congalidis, J.P., ve Georgakis, C., (1981), Chem. Eng. Sci. 36,1529-1546.

Çubuk, H., (1999), Orhaneli Linyiti-biyokütle Karışımının Akışkan Yatakta Yakılmasında Çevre Kirliliğinin İncelenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Davidson, J.R., (1985), Fluidization, Academic Press, London.

Ekinci, E., (1981), Akışkan Yatakta Avgamasya Asfaltitinin Yakılması, Doçentlik Tezi, İTÜ.

Ekinci, E., Tolay M., Kadioğlu E., (1983), "Akışkan Yatakta Uçucu Madde Davranımı", Uludağ Üniversitesi Birinci Yanma Sempozyumu, 63,73, Bursa.

Eskin, N., (1990), Akışkan Yataklı Kömür Yakıcısı Modeli ve İkinci Kanun Analizi, Doktora Tezi, İTÜ.

Gibbs, B.M., (1975), Institute of Fuel Symposion Series, 1, A5-1.

Hougen, O.A., Watson, K.W., Ragatz, R.A., (1954), Chemical Proses Principles, John Wiley & Sons, New York.

Howard, J.R., (1989), Fluidized Bed Technology, Adam Hilger, Bristol.

Loison, R., Chauvin, R., (1964), "Pyrolyse Rapide du Charbon", Chemie et. Industrie, 91, 269.

Öner, T., (1985), Çan Linyitin Akışkan Yatakta Yakılması Sırasında Oluşan SO₂ Yayınımı ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Park, D., Levenspiel, O., Fitzgareld, T.J., (1980) "Plume Model for Large Scale Atmospheric Fluidized Bed", AIChE Sym. Ser.

Perry, R.H., Chilton, C.H., (1973), Chemical Engineers' Handbook, McGraw-Hill Book Company, New York.

Pillai, K., (1981), The Influence of Coal Type on Devolatization and Combustion in Fluidized Bed, Jour. Inst. of Energy, 142.

Pillai, K., (1982), A Schematic for Coal Devolatization in Fluidized Bed Combustors, Jour. Inst. of Energy, 132.

Rajan, R., Krishnan, R., Wen, C.Y., (1978), "Simulation of Fluidized Bed Combuster: Part II Coal Devolatization and Sulfur Oxides", AIChE Symp. Ser., 74(176), 112-119.

Rajan, R., (1980), "A comprehensive Model for Fluidized Bed Coal Combustors", AIChEJ. 26.

Reddy, G.V., Sinha, A., (1997), "A Mathematical Model for Coal Combustion in a 10 MW FBC Power Plant", *Energy*, 22, 381-387.

Speigh, G.J., (1994), *The Chemistry and Technology of Coal*, Marcel Dekker Inc.

Srinivasan, R.A., Sriramulu, S., Kulasekarun, S., (1998), "Mathematical Modelling of Fluidized Bed Combustion-2 Combustion of Gases", *Fuel*, 77, 1033-1049.

Strehlow, R.A., (1985), *Fundamental of Combustion*, McGraw-Hill Book Company.

Stubington, J.F., (1985), "Comparison of Techniques for Measuring the Temperature of Char Particles Burning in a Fluidized Bed", *Chem. Eng. Res. Des.*, 63, 241-249

Turns, S.R., (2000), *An Introduction to Concept and Applications*, McGraw-Hill.

Wen, C.Y., Chen, L.H., (1982), "Fluidized Bed Freboard Phenomena: Entrainment and Elutriation", *AIChJ*, 28, No1, 117-128.

Yates, J.G., (1978), *Fluidization*, Cambridge University Press, London.



EKLER**Ek 1 Basic Programı**

```

10 REM AKISKAN YATAK MODELİ
20 REM GIRIS DEGERLERININ ATANMASI (KMOL, KELVIN METRE BAZINDA)
30 READ TN, TYN2, TYO2, TYCO2, TYCO, TYSO2, TYNO, TYH2O, TYCH4, TYH2, Z
40 DATA 0.0001488,0.79,0.21,0,0,0,0,0,0,0,0,0
50 REM BASINC R SICAKLIK SER. BOL. BOYU DZ YATAK CAPI MIM AK. HIZI
60 READ P, R, T, L, DZ, YD, UMF, BAS, BAT, BAD
70 DATA 101325,8314.34,775,1.2,0.001,0.15,0.1886,0,0,0.005
80 REM KOMUR BESLEME MIKTARI (KG/S)
90 READ KOMUR
100 DATA 0.0007525
101 REM KOMURUN NEMI (%)
102 READ NEM
103 DATA 25.71
110 REM SERBEST BOLGEYE ATILAN KOMUR PARTIKULU MIKTARI
120 READ ORAN, D
130 DATA 0.10,0.0015
131 REM AKISIN VOL. DEBISI
132 READ VOL
133 DATA 0.003333
140 REM UCUCU MADDE BILESIMININ BELIRLENMESI
150 READ XUM, YT, XS, XN, SERBOR, UORANTOP
160 DATA 0.571,1108,0.002,0.001,1,0
161 REM UCUCU BESLEME NOKTASI
162 READ BECS
163 DATA 0.07
170 REM GAZLARIN ORTALAMA ISI KAPASITESI/VIZKOZITE VE CP HESABI
180 READ A, B, C, DW, E, F
190 DATA 1.16145,0.14874,0.52487,0.7732,2.16178,2.43787
200 REM KATI TANECIK SICAKLIGININ HESABI
201 READ EPS
202 DATA 500
203 REM KOMURUN ELEMENTEL ANALIZI (%)
204 READ WC, WH, WN, WO, WS
205 DATA 50.68,4.17,0.5,20.43,1.65
206 READ CPKUL
207 DATA 0.6908
210 REM HESAPLAMALAR
213 KOMURNEMI = NEM * KOMUR / 100 / 18.0153
215 TYN2 = TN * TYN2 / (TN + KOMURNEMI): TYO2 = TN * TYO2 / (TN + KOMURNEMI):
221 CPKOMUR = (.189 * 50.68 + 4.17 * .874 + .5 * .491 + .215 * 1.65 + .36 * 20
223 RC = 1534 - 51.96 * WH + 7.315 * WO - 24.72 * WN + 3.853 * WS
224 UORANTOP = 0: QA = .3
225 BOX = 7: BO1 = 6.3: BO2 = 1.65: BO3 = 1.2: BO4 = .95: BO5 = .85: BO6 = .7:
226 REM UCUCU MADDE CIKIS NOKTASININ BELIRLENMESI
227 IF UORANTOP >= 1 THEN 500
230 IF Z >= .3 THEN 500
231 IF Z >= .275 THEN 261
232 IF Z >= .25 THEN 260
233 IF Z >= .225 THEN 259
234 IF Z >= .2 THEN 258
235 IF Z >= .175 THEN 257
236 IF Z >= .15 THEN 256
237 IF Z >= .125 THEN 255
238 IF Z >= .1 THEN 254
239 IF Z >= .075 THEN 253
240 IF Z >= .05 THEN 252

```

```

41 IF Z >= .025 THEN 251
42 IF Z >= .001 THEN 250
43 IF Z >= 0 THEN 244
44 T1 = DZ / QA * BOX: GOTO 266
50 T1 = DZ / QA * BO1: GOTO 266
51 T1 = DZ / QA * BO2: GOTO 266
52 T1 = DZ / QA * BO3: GOTO 266
53 T1 = DZ / QA * BO4: GOTO 266
54 T1 = DZ / QA * BO5: GOTO 266
55 T1 = DZ / QA * BO6: GOTO 266
56 T1 = DZ / QA * BO7: GOTO 266
57 T1 = DZ / QA * BO8: GOTO 266
58 T1 = DZ / QA * BO9: GOTO 266
59 T1 = DZ / QA * BO10: GOTO 266
60 T1 = DZ / QA * BO11: GOTO 266
61 T1 = DZ / QA * BO12: GOTO 266
66 UORANTOP = UORANTOP + T1
67 IF UORANTOP > 1.0000000001# THEN 268 ELSE 270
68 T1 = T1 + (1 - UORANTOP): UORANTOP = UORANTOP + (1 - UORANTOP)
70 XUCH4 = (.201 - .469 * XUM + .241 * XUM ^ 2) / 1.390705
80 XUH2 = (.157 - .868 * XUM + 1.388 * XUM ^ 2) / 1.390705
90 XUCO2 = (.135 - .9 * XUM + 1.906 * XUM ^ 2) / 1.390705
00 XUCO = (.428 - 2.653 * XUM + 4.845 * XUM ^ 2) / 1.390705
10 XUH2O = (.409 - 2.389 * XUM + 4.554 * XUM ^ 2) / 1.390705
11 XUK = -.325 + 7.279 * XUM - 12.88 * XUM ^ 2 / 1.390705
20 XUS = ((.001 * YT - .6) * XS / XUM)
30 XUN = ((.001 * YT - .06) * XN / XUM)
40 NUCH4 = KOMUR * XUM * SERBOR * XUCH4 / 16.013
50 NUH2 = KOMUR * XUM * SERBOR * XUH2 / 2.016
60 NUCO2 = KOMUR * XUCO2 * XUM / 44.0099
70 NUCO = KOMUR * XUM * SERBOR * XUCO / 28.0105
80 NUH2O = XUH2O * XUM * SERBOR * KOMUR / 18.0153
90 NUS = XUS * SERBOR * KOMUR / 32.06
00 NUN = XUN * SERBOR * KOMUR / 14.0067
10 TOPU = (NUCH4 + NUH2 + NUCO2 + NUCO + NUH2O + NUS + NUN)
20 YUCH4 = NUCH4 * UORAN / TOPU
30 YUH2 = NUH2 / TOPU: YUCO2 = NUCO2 / TOPU: YUCO = NUCO / TOPU
40 YUH2O = NUH2O / TOPU: YUS = NUS / TOPU: YUN = NUN / TOPU: GOTO 450
45 IF Z >= .3 THEN 446 ELSE 500
46 T1 = 0
50 REM YENIDEN TOPLAM MOL VE FRAK. HESABI
60 TQW = TN + T1 * TOPU: TYN2 = (TN * TYN2) / TQW: TYO2 = (TYO2 * TN) / TQW:
70 TYCO = (TN * TYCO + NUCO * T1) / TQW: TYSO2 = TYSO2 * TN / TQW: TYNO = TYN
80 TYH2O = (TN * TYH2O + T1 * NUH2O) / TQW: : TYH2 = (TYH2 * TN + T1 * NUH2)
90 TYCH4 = (TN * TYCH4 + T1 * NUCH4) / TQW: TYS = NUS / TQW: TYN = NUN / TQW
95 TN = TQW
00 REM VIS/CP/ISIL ILETKENLIK
01 REM VIZKOZITE (KG/MS)
10 MUN2 = (2.6693E-26) * ((28.0134 * T) ^ .5) / (((3.79E-10) ^ 2) * (A / (.01
20 MUCO2 = (2.6693E-26) * ((44.0099 * T) ^ .5) / (((3.941E-10) ^ 2) * (A / (.
30 MUCO = (2.6693E-26) * ((28.0105 * T) ^ .5) / (((3.69E-10) ^ 2) * (A / (.01
40 MUO2 = (2.6693E-26) * ((31.9988 * T) ^ .5) / (((3.467E-10) ^ 2) * (A / (.0
50 MUH2O = (2.6693E-26) * ((18.0153 * T) ^ .5) / (((2.641E-10) ^ 2) * (A / (.
60 MUSO2 = (2.6693E-26) * ((64.0627 * T) ^ .5) / (((4.112E-10) ^ 2) * (A / (.
70 MUNO = (2.6693E-26) * ((30.0061 * T) ^ .5) / (((3.492E-10) ^ 2) * (A / (.0
71 MUCH4 = (2.6693E-26) * ((16.013 * T) ^ .5) / (((3.746E-10) ^ 2) * (A / (.0
79 REM OZGUL ISI (KCAL/KGMOL.K)
80 CPN2 = .000705428# * T + 6.6132836#
90 CPCO2 = .002543428# * T + 8.796033899999999#
00 CPCO = .000771428# * T + 6.615189
510 CPO2 = .000931714# * T + 6.791388
520 CPH2O = .00140286# * T + 7.45728576#

```

```

630 CPSO2 = .00212 * T + 9.562922
640 CPNO = .00081057# * T + 6.759554
650 CPH2 = .00019508# * T + 6.845375
660 CPCH4 = .006134285# * T + 6.8888
670 CPORT = CPN2 * TYN2 + CPCO2 * TYCO2 + CPCO * TYCO + CPO2 * TYO2 + CPH2O *
672 NCPHAVA = .000148794# * .69 * 29.14 + .000148794# * .21 * 29.38
673 BAZ = (NCPHAVA * (775 - 298)) / ((.11 * 285840 / 2.016 + .489 * 282989 / 2
674 BAZT = (KOMUR - BAZ) / KOMUR
679 REM ISIL ILETKENLIK (W/MK)
680 KN2 = (CPN2 / 28.0134 + 1.25 * 1.986212 / 28.0134) * 10 * MUN2 * 418.68
690 KCO2 = (CPCO2 / 44.099 + 1.25 * 1.986212 / 44.0134) * 10 * MUCO2 * 418.68
700 KCO = (CPCO / 28.015 + 1.25 * 1.986212 / 28.015) * 10 * MUCO * 418.68
710 KO2 = (CPO2 / 31.9988 + 1.25 * 1.986212 / 31.9988) * 10 * MUO2 * 418.68
720 KH2O = (CPH2O / 18.0153 + 1.25 * 1.986212 / 18.0153) * 10 * MUH2O * 418.68
730 KSO2 = (CPSO2 / 64.0627 + 1.25 * 1.986212 / 64.0627) * 10 * MUSO2 * 418.68
740 KNO = (CPNO / 30.0061 + 1.25 * 1.986212 / 30.0061) * 10 * MUNO * 418.68
741 KCH4 = (CPCH4 / 16.013 + 1.25 * 1.986212 / 16.013) * 10 * MUCH4 * 418.68
750 REM ORT KMIX VE MU HESAPLANMASI
760 I = 1: J = 1
770 K(1) = KN2: K(2) = KCO2: K(3) = KCO: K(4) = KO2: K(5) = KH2O: K(6) = KSO2:
780 M(1) = MUN2: M(2) = MUCO2: M(3) = MUCO: M(4) = MUO2: M(5) = MUH2O: M(6) =
790 S(1) = 28.0134: S(2) = 44.0099: S(3) = 28.0105: S(4) = 31.9988: S(5) = 18.
799 Y(1) = TYN2: Y(2) = TYCO2: Y(3) = TYCO: Y(4) = TYO2: Y(5) = TYH2O: Y(6) =
800 IF Y(I) = 0 THEN 801 ELSE 810
801 KMI = 0: MUMI = 0: GOTO 840
810 TETA(I, J) = .35355333906# * ((1 + S(I) / S(J)) ^ -.5) * (1 + (M(I) / M(J)
820 KMI(I, J) = K(I) / (1 + (1 / Y(I)) * (Y(J) * TETA(I, J) + Y(J) * TETA(I,
830 MUMI(I, J) = M(I) / (1 + (1 / Y(I)) * (Y(J) * TETA(I, J) + Y(J) * TETA(I,
840 IF I >= 8 THEN 850 ELSE I = I + 1: GOTO 770
850 KMIX = KMI(1, J) + KMI(2, J) + KMI(3, J) + KMI(4, J) + KMI(5, J) + KMI(6,
860 MUMIX = MUMI(1, J) + MUMI(2, J) + MUMI(3, J) + MUMI(4, J) + MUMI(5, J) + M
870 REM KATI TANECIK SICAKLIGININ HESAPLANMASI
871 IF Z >= .3 THEN 872 ELSE 873
872 YD = .22: GOTO 880
873 YD = .15
880 TC = T + 150
881 TM = (TC + T) / 2
882 MKAR = 28.0105 * TYCO + 44.099 * TYCO2 + 18.0153 * TYH2O + 30.0061 * TYNO
883 RKAR = P * MKAR / R / T
884 HIZ = TN * 4 / (P / R / T) / 3.1415 / YD ^ 2
885 RE = HIZ * RKAR * D / MUMIX
886 SH = 2 + .65 * RE ^ .5 * (MUMIX * 5.08E-09 * (T ^ (3 / 2)) / RKAR) ^ .33
887 KCD = SH * 5.08E-09 * (T ^ (3 / 2)) / D
888 GOTO 890
889 KCR = 596 * TC * EXP(-18000 / TC): GOTO 900
890 KCR = 595 * TC * EXP(-149220 / 8.314 / TC): GOTO 900
891 KCR = 374000! * 8.314 * (TC ^ .5) * EXP(-174220 / TC / 8.314): GOTO 901
900 TOPK = (KCR * KCD * P * TYO2 / R / T / (KCR + KCD)): GOTO 902
901 TOPK = KCR * ((KCR ^ 2 + 4 * KCD ^ 2 * P / R / T * TYO2) ^ .5 - KCR) / 2
902 NUSSET = 2 + .6 * (RE ^ .5) * (CPORT * 4.18 * 1000 * MUMIX / MKAR / KMIX)
903 DENKLEM1 = (NUSSET * MUMIX * (TC - T) / D) + (5.669E-08) * .9 * (TC ^ 4 -
906 KOKHR = -393515 + (16.7319 * (T - 298.15) - .0576557# * (T ^ 2 / 2 - 298.
907 DENKLEM2 = -.22 * TOPK * KOKHR * 1000: GOTO 920
911 IF ABS(DENKLEM1 - DENKLEM2) <= EPS THEN 931
912 TC = TC - 1: : GOTO 890
920 REM AKTIF YATAK VE SERBEST TANECIK MODELİ
930 IF Z >= .3 THEN 931 ELSE 990
931 QW = Z - .3
940 IF QW >= .15 THEN 945
941 IF QW >= .7 THEN 944
942 IF QW >= .03 THEN 943
943 AZ = 2: GOTO 946
944 AZ = 11.8: GOTO 946

```

```

45 AZ = 4.3: GOTO 946
46 F0 = KOMUR * ORAN
47 FS = KOMUR * ORAN / 2
48 FHU = FS + (F0 - FS) * EXP(-AZ * QW): FHY = (F0 - FS) * EXP(-AZ * QW)
49 UTER = 4 * 9.81 ^ 2 * D ^ 3 * (RC - RKAR) ^ 2 / (225 * RKAR * MUMIX ^ .33)
50 HTANE = FHU / HIZ + FHY / UTER
60 NC = HTANE * DZ * 6 / (3.1415 * D ^ 3 * RC)
70 AV = 3.141592 * YD ^ 2 / 4
80 EF = 1 - (HTANE * DZ / RC) / (AV * DZ): GOTO 1040
90 REM AKTIF YATAK TANECIK DAVRANIMI
000 REM AKTIF YATAKTAKI DZ DEKI TUKETIM MIKTARI
010 ZMKOK = .9 * .225 * KOMUR / .3 / 12
020 AV = 3.141592 * YD ^ 2 / 4
025 NC = ZMKOK / TOPK / (3.1415 * D ^ 2)
030 EF = 1 - ((NC * 3.1415 * D ^ 3 / 6) / (AV))
040 REM DZ KESITINDEKI FRAKSIYON DEGISIMLERI
060 IF TYCO <= 0 THEN 1065 ELSE 1062
061 KARMOT = -AV * EF * 1.3E+11 * ((P / R / T) ^ 2) * (TYCO * TYO2 ^ .5 * TYH
062 KARMOT = -AV * EF * 1194! * ((P / R / T) ^ 1.8) * (TYH2O ^ .5 * TYCO * TY
063 KARMOT = -AV * EF * 5.5E+11 * ((P / R / T) ^ 1.75) * (TYH2O ^ .5 * TYCO *
065 KARMOT = 0: TYCO = 0: GOTO 1070
070 IF KARMOT > 0 THEN 1071 ELSE 1072
071 KARMOT = 0
072 IF TYCH4 <= 0 THEN 1088 ELSE 1080
080 METAN = -AV * EF * (830000) * (EXP(-15908 / T)) * (TYCH4 ^ -.3) * (TYO2 ^
081 METAN = -AV * EF * (7E+11) * (TYCH4 ^ -.5) * (TYO2 ^ 1.5) * EXP(-30196 /
082 METAN = -AV * EF * (1.3E+08) * (EXP(-24358 / T)) * (TYCH4 ^ -.3) * (TYO2
083 IF METAN > 0 THEN 1084 ELSE 1089
084 METAN = 0: GOTO 1089
088 METAN = 0: TYCH4 = 0
089 FARK = KARMOT / 2
090 DYCH4 = (METAN - TYCH4 * FARK) / TN
091 DZDYCH4 = -DYCH4 * DZ: IF DZDYCH4 >= TYCH4 THEN 1092 ELSE 1100
092 METAN = 0
100 DYO2 = ((KARMOT / 2 + METAN * 2) - YO2 * FARK) / TN
110 DYCO = (KARMOT - TYCO * FARK) / TN
120 DYCO2 = (-KARMOT - METAN - TYCO2 * FARK) / TN
130 DYH2O = (-METAN * 2 - TYH2O * FARK) / TN
140 DYSO2 = (NUS / L - TYSO2 * FARK) / TN
150 DYNO = (NUN / L - TYNO * FARK) / TN
170 REM KARBON YANMASI ILE TUKETILEN MIKTARLARIN HESABI
175 IF Z >= .3 THEN 1176 ELSE 1180
176 SABIT = NC * 3.141592 * D ^ 2 * TOPK: GOTO 1190
180 SABIT = ZMKOK * DZ
190 REM KESITTEKI ENTALPI DEGISIMI
191 ZAS = (-890346 + (-.002648565# * ((T ^ 2 / 2) - 298.15 ^ 2 / 2) + 3.23902
192 IF DZDYCH4 >= TYCH4 THEN 1193 ELSE 1200
193 DHRMET = -TYCH4 * TN * ZAS * BAZT: GOTO 1210
200 DHRMET = METAN * ZAS * DZ * BAZT
210 DHRKAR = KARMOT * BAZT * (-282989 + (.001306143# * ((T ^ 2 / 2) - 298.15
215 ZAH = -241826
220 DHRHID = -(TN * TYH2) * BAZT * ZAH
225 DHRS = 0: GOTO 1240
230 DHRS = -(TN * TYS / L) * (-296900) * DZ
240 DHRSN = -(NUS / L) * 90374 * DZ
241 DHRKOK = -SABIT * KOKHR * BAZT
242 IF Z >= .3 THEN 1255
253 DHRHAVA = NCPHAVA * (775 - 298)
254 DHRKOM = ((775 - 298) * CPKOMUR * KOMUR + CPKUL * (1121 - 298) * KOMUR *
255 IF Z >= .3 THEN 1260 ELSE 1261
260 DH = DHRKAR + DHRMET + DHRHID + DHRKOK: GOTO 1270
261 IF Z >= 0 THEN 1262 ELSE 1263
262 IF Z >= .001 THEN 1264 ELSE 1263

```

```

263 DH = DHRKAR + DHRMET + DHRHID + DHRKOK - DHRKOM: GOTO 1270
264 DH = DHRKAR + DHRMET + DHRHID + DHRKOK - DHRKOM:
270 REM TOPLAM ISI TRANSFER KATSAYISININ BELIRLENMESI
271 REM AKTIF YATAK ICIN ISI TRANFERI
272 IF Z >= .3 THEN 1331
280 MKAR = 28.0105 * TYCO + 44.099 * TYCO2 + 18.0153 * TYH2O + 30.0061 * TYNO
290 RKAR = P * MKAR / R / T
300 REMF = UMF * RKAR * D / (MUMIX)
310 AR = RKAR * (RC - RKAR) * 9.81 * D ^ 3 / ((MUMIX) ^ 2)
320 HPC = (35.6 * (RC ^ .2) * (KMIX) ^ .6 * D ^ -.36)
330 HGC = .86 * (AR ^ .39) * (KMIX) / D ^ .5: GOTO 1333
331 IF 598 >= T THEN 1345 ELSE 1332
332 W = 1.42 * (((T - 573) - 25) / .9) ^ .25: GOTO 1346
333 W = 1.42 * (((T - 288) - 25) / .3) ^ .25
334 HTOPT = 1 / (1 / (HPC + HGC) + .05 / 43 + 1 / W): TYU = (T - 298) * HTOPT
340 HTOP = 1 / ((1 / ((YD / 2) * (HPC + HGC))) + (LOG((YD / 2 + .005) / (YD /
341 REM SERBEST BOLGE ISI TRANSFERI
342 PRAN = CPORT * 4.18 * 1000 * MUMIX / MKAR * KMIX
343 REY = HIZ * RKAR * Z / MUMIX
344 HIC = .332 * (REY ^ .5) * (PRAN ^ .33) / * KMIX
345 HTOP = 1 / (1 / (.225 * 60) + LOG(.226 / .25) / 43 + LOG(.236 / .226) /
346 HTOP = 1 / (1 / (.225 * 60) + LOG(.226 / .25) / 43 + LOG(.236 / .226) /
349 REM HTOP = 1 / ((1 / ((.45 / 2) * (60))) + LOG((.45 / 2 + .005) / (.45 /
347 IF 698 >= T THEN 1348 ELSE 1350
348 ISINIM = 0: GOTO 1360
350 REM DZ KESITINDEKI ENTALPI DEGIMI
351 IF Z >= .3 THEN 1352 ELSE 1353
352 ISINIM = 5.67E-08 * ((T - 300) ^ 4 - 298 ^ 4) / ((1 - .85) / (.85 * 3.141
353 ISINIM = 5.67E-08 * ((T - 10) ^ 4 - 298 ^ 4) / ((1 - .85) / (.85 * 3.1415
354 IF Z >= .3 THEN 1355 ELSE 1356
355 LT = T - 350: GOTO 1360
356 LT = T - 10
360 TDH = DH - 3.141592 * 2 * HTOP * (LT - 298.15) * DZ / 1000 - ISINIM
361 TDHT = DH - 3.141592 * YD * HTOPT * (LT - 298.15) * DZ / 1000 - ISINIM
370 REM KESITTEN CIKAN FRAKSIYONLARIN BELIRI NMESI
371 IF DZDYCH4 >= TYCH4 THEN 1372 ELSE 1390
372 TYO2 = TYO2 + DZ * DYO2
373 TYO2 = (TYO2 * TN - SABIT - 2 * TYCH4 * TN - .5 * TYH2 * TN) / TN
374 TYH2O = TYH2O + DZ * DYH2O
375 TYH2O = (TYH2O * TN + 2 * TYCH4 * TN + TYH2 * TN) / TN
376 TYCO2 = TYCO2 + DZ * DYCO2
377 TYCO2 = (TYCO2 * TN + SABIT + TYCH4 * TN) / TN
378 TYCO = TYCO + DZ * DYCO
379 TYSO2 = TYSO2 + DZ * DYSO2 + SABIT * TYO2 * (1 - XUS) / (1 - XUM)
380 TYNO = TYNO + DZ * DYNO + SABIT * YO2 * (1 - XUN) / (1 - XUM) - NC * (3.1
381 TYN2 = TYN2 + (TYN2 * FARK) / TN * DZ
1390 TYO2 = TYO2 + DZ * DYO2
1391 TYO2 = (TYO2 * TN - SABIT) / TN
1392 TYCO2 = TYCO2 + DZ * DYCO2
1393 TYCO2 = (TYCO2 * TN + SABIT) / TN
1394 TYCH4 = TYCH4 + DZ * DYCH4
1395 TYH2O = TYH2O + DZ * TYH2O
1396 TYN2 = TYN2 + (TYN2 * FARK) / TN * DZ
1397 TYCO = TYCO + DZ * DYCO
1398 TYSO2 = TYSO2 + DZ * DYSO2 + SABIT * TYO2 * (1 - XUS) / (1 - XUM)
1430 TYNO = TYNO + DZ * DYNO + SABIT * YO2 * (1 - XUN) / (1 - XUM) - NC * (3.1
1460 TN = TN + DZ * FARK
1470 REM DZ KESIT CIKISI SICAKLIGIN BELIRLENMESI
1480 T = T + TDH / (TN * CPORT * 4.1868): TG = T - 273.15
1490 Z = Z + DZ: BAT = BAT + DZ
1491 IF BAT >= BAS THEN 1500 ELSE 230
1500 PRINT "Z="; : PRINT Z; : PRINT "          T="; : PRINT TG; : PRINT "
1510 PRINT "          YO2="; : PRINT TYO2; : PRINT "          YCO="; : PRINT TYCO; : PRINT

```

ÖZGEÇMİŞ

| | | |
|---------------|------------|--|
| Doğum tarihi | 26.01.1976 | |
| Doğum yeri | İstanbul | |
| Lise | 1990-1993 | Yahya Kemal Beyathı Lisesi |
| Lisans | 1993-1998 | İstanbul Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Lisans |
| | 1996-1999 | İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Lisans |
| Yüksek Lisans | 1999-2001 | Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı |

Çalıştığı Kurumlar

2000-2000 Flumen Tekstil San.Tic.A.Ş.

