



EFFECTS OF THE SIZE DISTRIBUTION OF FUEL PARTICULATE ON THE HEAT GATE IN THE INNER SURFACE OF FLUIDIZED BED

Oğuzhan ERBAŞ*, Hüseyin TOPAL**, Ali DURMAZ**

*Dumlupınar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, KÜTAHYA

**Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak., Makine Mühendisliği Bölümü, ANKARA
oerbas@dpu.edu.tr, htopal@gazi.edu.tr, adurmaz@gazi.edu.tr

Geliş tarihi: 04.03.2008 Kabul tarihi: 16.07.2008

ABSTRACT

In the combustion systems, the turbulence effect and shape factor of the fuel particulate should be maximized to complete the steps of separating the combustible volatiles, ignition and combustion of these volatiles. The most appropriate systems in this purpose is the circulated fluidized bed boiler(CFBB). To get the maximum shape factor, the coal must be grinded to it's the thinnest size. The thinner particulates have better mixing ability, hence; the required distance for conductivity between particulates and heating surface decrease. Therefore, the heat transfer in a CFBB increase with the decrease of the average particulate diameter. In this study the effects of the size distribution of the fuel particulates on the heat transfer have been determined. In the aim, the heat gate forms on the inner surface has experimentally been investigated.

Key Words: *Particulate size distribution, fluidized bed, heat gate*

TANECİK BOYUT DAĞILIMININ AKIŞKAN YATAK İÇ YÜZEYİNDE ISI KAPISI ARALIĞINA ETKİSİ

ÖZET

Yakma sistemlerinde, yakıt taneciğinin çok hızlı şekilde gaz fazına geçirilip, tutuşturulup, yanmasının tamamlanabilmesi için yakıt taneciği biçim faktörünün ve taneciğe uygulanan türbülans etkisinin maksimize edilmesi gerekir. Bu şartları en iyi sağlayan yakma sistemi dolaşimli akışkan yatakta yakmadır. Yakıt taneciği biçim faktörü, kömürün uygun olan en ince boyutta öğütülmesiyle maksimum düzeye çıkarılır. Dolaşimli akışkan yatakta ortalama partikül çapı azaldıkça ısı transferi de artmaktadır. Çünkü daha ufak partiküller gaz içerisinde daha iyi bir karışım oluşturmakta, partikül kümeleri ile ısıtma yüzeyi arasındaki iletim için gerekli olan mesafe kısaltmakta, yani gaz tabakası incelmekte ve bunun sonucunda termal iletim direnci azalarak, ısı kapısı aralığı genişleyerek ısı transfer oranı daha yüksek olmaktadır. Bu çalışmada, tanecik boyut dağılımının akışkan yatak iç yüzeyinde, ısı kapısı aralığına dolayısıyla ısıtma yüzeyinden (temas duvarından) yatağa olan ısı transferine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Tanecik boyut dağılımı, akışkan yatak, ısı kapısı*

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde artan yakıt fiyatları, sıkılaştıran çevre yasaları ve yönetmelikleri karşısında, ekonomik ve çevre yönünden uygun ısı üretimi, büyük kapasiteli, yüksek yanma ve ısıl verimli, düşük hava kirletici emisyonlu yakma sistemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle, düşük kaliteli kömürlerin, yukarıda belirtildiği üzere teknolojiye uygun biçimde, yakıtı uygun yakma sistemlerinde yakılması durumunda, oluşabilecek çevre sorunları en aza indirilebilecektir.

Ülkemizin enerji ve döviz dar boğazlarını aşarak, ekonomik gelişmeyi sürdürebilmesi için, linyit rezervlerinden optimum düzeyde yararlanma zorunluluğu olduğu bilinmektedir. Türk linyitlerinin özellikleri (düşük ısıl değer, yüksek nem, kül ve kükürt oranları), mevcut yakma sistemlerinde yakılmalarını güçleştirdiği gibi, önemli çevre

kirliliği sorunlarına da yol açmaktadır. Ancak; günümüzün alışılmış yakma sistemleri (yüzeyde, hacimde yakma), belli standart yakıt özellikleri (ısı değer, nem, yanıcı uçucular, kül, kükürt oranı, tane büyüklüğü, taşınabilirlik, depolanabilirlik, yanma davranışı vb.) esas alınarak tasarlanmakta ve ancak bu özellikler kapsamında enerji ve çevresel etki ekonomisi yönünden uygun biçimde kullanılabilir.

Yakma teknolojisi yönünden temel sorun, standart yakıt özelliğini taşımayan düşük kaliteli yakıtların, enerji ve çevresel etki ekonomisi yönünden uygun yakılabileceği yakma teknolojisinin geliştirilmesidir. Günümüzde, standart dışı düşük kaliteli yakıtları yakabilecek en uygun teknoloji, akışkan yatak da yakma teknolojisidir. Akışkan yatak demekle, kömür kül ve/veya kum vb. karışımının hava ile adeta fukurdayarak oluşturduğu yatak kastedilmektedir.

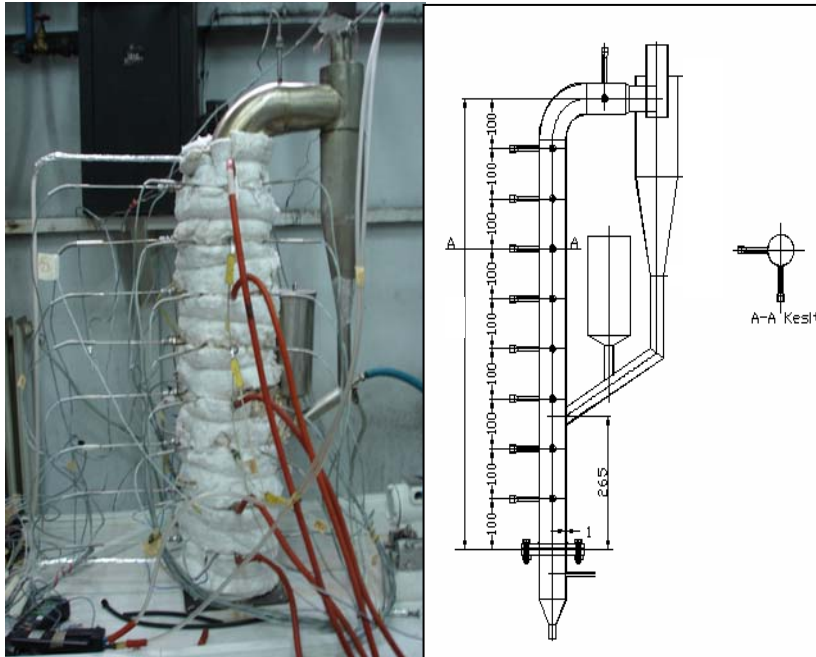
Akışkan yatak da yakma teknolojisi, yakıtların yanma koşullarının, yani yakıtların 3T koşulunun (Turbulance, Temperature, Time) kolayca gerçekleştirilebildiği, SO₂ ve NO_x emisyonlarını tutma özelliğine sahip akışkanlaştırılmış bir ortamda yakılması esasına dayanmaktadır. Gazla akışkanlaştırılmış akışkan yatak sistemlerinde en önemli avantajlarından biri gaz ile temas eden partiküllerin yüzey alanının çok büyük olmasıdır [1,2].

Dolaşımli akışkan yatakta ortalama partikül çapı azaldıkça ısı transferi de artmaktadır. Çünkü daha ufak partiküller gaz içerisinde daha iyi bir karışım oluşturmakta, partikül kümeleri ile ısıtma yüzeyi arasındaki iletim için gerekli olan mesafe kısalmakta, yani gaz tabakası incelmekte ve bunun sonucunda termal iletim direnci azalarak, ısı kapısı aralığı genişlemekte, sonuç olarak ısı transfer oranı daha yüksek olmaktadır. Bu çalışmada, tanecik boyut dağılımının akışkan yatak iç yüzeyinde, ısı kapısı aralığına dolayısıyla ısıtma yüzeyinden (temas duvarından) yatağa olan ısı transferine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

2.TANECİK BOYUT DAĞILIMININ ISI KAPISINA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

2.1. Deney ve Ölçme Sistemi

Isıya dayanıklı ve ısı transfer katsayısı yüksek paslanmaz çelikten imal edilen, dağıtıcı elekten itibaren 0,9 m yüksekliğinde, 10 cm çapındaki ana kolona sahip deney sistemi (Şekil 1) ile, dolaşımli akışkan yatakta ısı transfer özellikleri ve etkili parametreler deneysel olarak incelenmiştir.



Şekil 1. Dolaşımli Akışkan Yatak Deney Sistemi [3]

Isıtılmış yüzey-yatak arası ısı transfer analizi için, ana kolon boyunca hava dağıtıcısından itibaren aksel yönde, her 10 cm' de bir, doksan derece açı ile bir adet sıcaklık ölçmek için, bir adet de basınç ölçmek için ½" çapında 8'er adet ölçüm alma noktaları bulunmaktadır. Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan ısı çiftleri, DIN 43710, IEC 584 ve TS EN 60584 standartlarında olup, radyal yönde hareket için rekorlu ve gaz çıkışını engelleyecek biçimde özel olarak imal edilmişlerdir [3].

Yatak içersinde, duvar yüzey sıcaklığının bulunabilmesi için öncelikle, yalıtım yüzey sıcaklıkları Raynger infrared termometre ile ölçülmüş ve dış hava sıcaklığına göre yalıtımdan olan ısı kaybı hesaplanmıştır. Akışkanlaşmayı sağlayan fan devri ve frekans kontrolü için ise Hyundai invertör (3,5 kW) kullanılmıştır. Dönüş kolonunda tıkanmayı önlemek ve dolaşımın daha iyi sağlanması amacıyla, az miktarda ikincil bir havada kompresör yardımıyla sağlanmıştır.

Sistem üzerinde kelepçeli elektrikli ısıtıcı montajı yapılan bölgelerin seramik yünü ile izolasyonu yapılmıştır. Elektrikli ısıtıcı güç ayarı, değişken bir transformatör (varyak) ile kontrol edilebilmekte, çekilen voltaj değerleri voltmetre yardımı ile görülebilmektedir. Yatak içersindeki sıcaklığın sabitlenmesi ve yatışkın (kararlı) halin sağlanması için, transformatör gücünü açıp-kapayacak sayısal göstergeli kontrol cihazı (termostat), sıcaklık ve basınç değerlerinin okunması için de 64 kanallı data logger kullanılmıştır. Gaz hızı ölçümleri, pitot tüpü yardımıyla ASTM normunda "D3154-00 Standard Test Method for Average Velocity in a Duct" (Pitot Tube Method)'a uygun TESTO 512 cihazı ile yapılmıştır [3].

Tanecik boyut dağılımı bulunurken yani yatak malzemesi ortalama çapı hesaplanırken, ASTM Normu (8inç) elek serisi kullanılarak elek analizi yapılmış ve kümülatif yöntem uygulanmıştır. Ayrıca 500 µm' ye kadar olan partiküllerin boyut dağılımı ve ortalama çapı Malvern Mastersizer laser ölçüm cihazı yardımıyla bulunmuştur. Mie Teorisi ile çalışan bu cihaz, ışığın ortam içerisinde tane boyu etrafındaki hem kırılmasını hem de geçirgenliğini dikkate alır.

2.2. Buckingham-II Yöntemi İle Boyutsuz Parametrelerin Belirlenmesi

Anna Elizabeth Griffith,(2000), M.S. Detamore ve arkadaşları, (2000), Hong-Der Chang, (1991), R. Roy and J.F. Davidson, (1989)'ın önermiş oldukları boyutsuz sayıların eldesi için; $f(h, k_{\text{partikül}}, \mu_{\text{gaz}}, \rho_{\text{partikül}}, \rho_{\text{gaz}}, D_{\text{partikül}}, g, U_{\text{gaz}}, D_{\text{kolon}}, G_s) = 0$ şeklinde $i = 10$ adet fiziksel büyüklük ile ifade edilirse, burada (h) ısı taşınım katsayısı, ($k_{\text{partikül}}$) partiküllerin ısı iletim katsayısı, (μ_{gaz}) gazın dinamik viskozitesi, ($\rho_{\text{partikül}}$) partikül yoğunluğu, (ρ_{gaz}) gaz yoğunluğu, ($D_{\text{partikül}}$) partikül çapı, (g) yerçekimi ivmesi, (U_{gaz}) gaz hızı, (D_{kolon}) kolon çapı, (G_s) katı dolaşım oranını ifade etmektedir[4,5]. Bu fiziksel büyüklükler, Tablo 1 de görüldüğü gibi [L] uzunluk, [M] kütle, [t] zaman, [T] sıcaklık olmak üzere $j = 4$ adet temel boyut ile tanımlanabilir.

Tablo 1. Fiziksel Büyüklükler ve temel boyut ifadeleri

Büyüklük	h	k_p	μ_{gaz}	ρ_{gaz}	g	U_g	D_p	G_s
Boyut	$\frac{[M]}{[t]^3 [T]}$	$\frac{[M][L]}{[t]^3 [T]}$	$\frac{[M]}{[L] [T]}$	$\frac{[M]}{[L]^3}$	$\frac{[L]}{[t]^2}$	$\frac{[L]}{[T]}$	[L]	$\frac{[M]}{[L]^2 [T]}$

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde laboratuvar ölçekli test sistemi ile endüstriyel boyuttaki bir dolaşım akışkan yataklı sistem arasında boyutsuz parametrelerin aynı olması durumunda elde edilecek hidrodinamik yapının ve ısı transfer özelliklerinin aynı olacağı belirtilmektedir. Ayrıca benzeşim çalışmaları ticari uygulamalara ışık tutmaktadır. Bu amaçla önce literatürde önerilen boyutsuz parametreler Buckingham-II yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ileride yapılacak benzeşim çalışmaları için büyük bir katkı sağlayacaktır. Tanecik boyut dağılımının yani ortalama partikül çapının ($D_{\text{partikül}}$) bu boyutsuz parametreler üzerindeki etkisi elde edilen eşitliklerden (Tablo 2) görülmektedir.

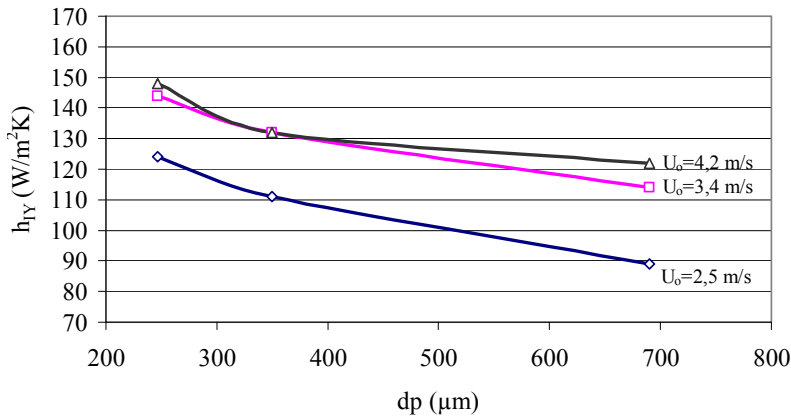
Tablo 2. DAY İçin Boyutsuz Parametreler

Fiziksel Büyüklükler	Boyutsuz Sayı
$\Pi_1 = k_{partikül}^{a1}, \mu_{gaz}^{b1}, \rho_{gaz}^{c1}, D_{partikül}^{d1}, \rho_{partikül}$	$\Pi_1 = \frac{\rho_{partikül}}{\rho_{gaz}}$ (Yoğunluk Oranı)
$\Pi_2 = k_{partikül}^{a2}, \mu_{gaz}^{b2}, \rho_{gaz}^{c2}, D_{partikül}^{d2}, g$	$\Pi_2 = \frac{\rho_{gaz}^2 \cdot D_{partikül}^3 \cdot g}{\mu_{gaz}^2}$ (Arşimet Sayısı)
$\Pi_3 = k_{partikül}^{a3}, \mu_{gaz}^{b3}, \rho_{gaz}^{c3}, D_{partikül}^{d3}, U_{gaz}$	$\Pi_3 = \frac{\rho_{gaz} \cdot D_{partikül} \cdot U_{gaz}}{\mu_{gaz}}$ (Reynold Sayısı)
$\Pi_4 = k_{partikül}^{a4}, \mu_{gaz}^{b4}, \rho_{gaz}^{c4}, D_{partikül}^{d4}, D_{kolon}$	$\Pi_4 = \frac{D_{kolon}}{D_{partikül}}$ (Çap oranı)
$\Pi_5 = k_{partikül}^{a5}, \mu_{gaz}^{b5}, \rho_{gaz}^{c5}, D_{partikül}^{d5}, G_s$	$\Pi_5 = \frac{D_{partikül} \cdot G_s}{\mu_{gaz}}$ (Katı Dolaşım Oranı)
$\Pi_6 = k_{partikül}^{a6}, \mu_{gaz}^{b6}, \rho_{gaz}^{c6}, D_{partikül}^{d6}, h$	$\Pi_6 = \frac{h \cdot D_{partikül}}{k_{partikül}}$ (Nusselt Sayısı)

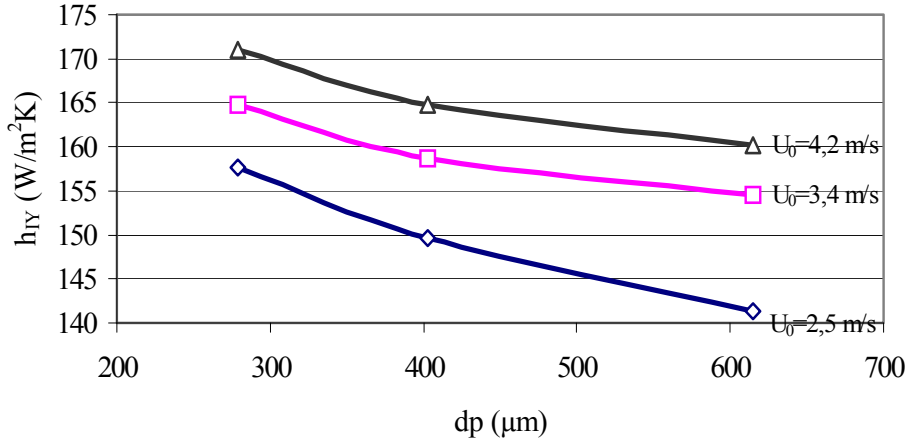
3. SONUÇLAR

Dolaşımli akışkan yataklı sistemlerde, duvardan yatağa olan ısı transferi, ısıtma yüzeyi ile yatak çekirdek akım bölgesi arasında, ısıtma yüzeyinin yakın çevresinde bulunan partikül kümelerinin ve dağılmış fazın dinamik davranışının bileşke etkisi tarafından belirlenir [6,7]. DAY’da yatağı çevreleyen ısıtma yüzeyinden, yatağa olan toplam ısı transferi;

- Dolaşımli yenilenen kümesel akımın oluşturduğu taşınımli partikül ısı transferi (h_{pc})
- Yukarı akışlı seyreltilmiş veya dağılmış faz akımının oluşturduğu taşınımli gaz ısı transferi (h_{gc})
- Dolaşımli yenilenen kümesel akım (h_{pr}) ve dağılmış faz akımı (h_{gr}) ile ısıtma yüzeyi arasındaki radyasyonlardan oluşan, toplam radyasyon h_{rtop} , ısı transferleri bileşenlerinin (a,b,c) kümülatif bileşkesi olarak ortaya çıkar. Dolaşımli akışkan yatakta ortalama partikül çapı azaldıkça ısı transferi de artmaktadır. Şekil 3’de yatak malzemesinin silis kumu ve Şekil 4’de de yatak malzemesi olarak çelik tozunun kullanıldığı durumda, ısıtma yüzeyi ile yatak arası ısı transfer katsayısının partikül çapı (d_p) ve gaz hızı (U_o) ile değişimi gösterilmiştir. Çelik tozu ile elde edilen ısı transfer değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Partikül konveksiyonu, oluşan partikül kümeleri ve bu kümelerle duvar arasında oluşan gaz tabakası kalınlığının direncine bağlıdır. Bu ısıl direnci ise gaz içersine karışan partikül parçacıkları belirlemektedir.

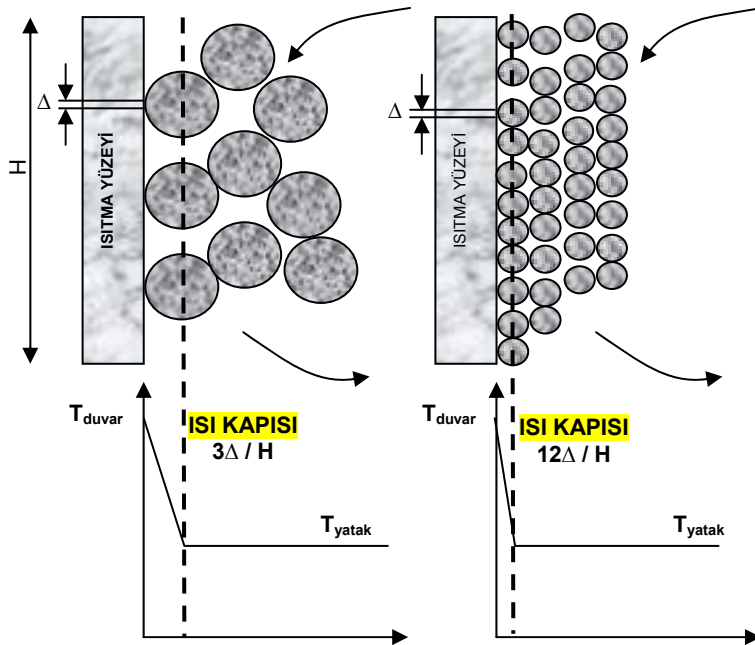


Şekil 3. Isı transfer katsayısının partikül çapı (d_p) ve gaz hızı (U_o) ile değişimi (Silis kumu, $T_y = 300$ °C)



Şekil 4. Isı transfer katsayısının partikül çapı(d_p) ve gaz hızı (U_0) ile değişimi (Çelik tozu, $T_y = 300$ °C)

Çünkü daha ufak partiküller gaz içerisinde daha iyi bir karışım oluşturmakta, partikül kümeleri ile ısıtma yüzeyi arasındaki iletim için gerekli olan mesafe kısalmakta, yani gaz tabakası incelmekte ve bunun sonucunda termal iletim direnci azalarak, ısı kapısı artmakta (Şekil 5) ve ısı transfer oranı daha yüksek olmaktadır. Şekil 5’de partikül çapının ısı kapısı ve gaz tabakası direncine etkisi gösterilmiştir. Ayrıca daha küçük partiküller daha büyük toplam yüzey alanlarına sahip olduğundan partiküller ile gaz arasındaki taşınım ile ısı transferi artmaktadır. İkinci olarak partikül çapı küçüldükçe ortalama katı hacim kesri ve ısı transfer alanını kaplayan partikül miktarı da artmaktadır.



Şekil 5. Partikül çapının ısı kapısı ve gaz tabakası direncine etkisi

KAYNAKLAR

- [1] Grace,J.R., “Heat transfer in Circulating Fluidized Bed”, Circulating Fluidized Bed Technology, **Proceedings of the First International Conference on Circulating Fluidized Bed**, Pergamon Press, Canada,(1986).
- [2] Basu, P., Nag, P.K., “Heat transfer To Walls of a Circulating Fluidized-Bed Furnace”, **Chemical Engineering Science**, Elsevier, Vol. 51, No. 1,pp. 1-26, (1995).
- [3] Erbaş, O., “Dolaşımli Akışkan Yatakta Isı Transferi Mekanizması ve Bu Mekanizmanın Kuramsal ve Deneysel Analizi”, Doktora Tezi, **G.Ü. Fen Bil. Ens.**, (2007).
- [4] Griffith,A.,“Convective Heat Transfer Scaling At The Wall Of Circulating Fluidized Bed Risers”, **Doctor Of Philosophy**, Cornell University, (2000).
- [5] Detamore, M., Swanson, M., Frender, K., Hrenya, C., “A Kinetic-Theory Analysis Of The Scale-Up Of Circulating Fluidized Bed”, **Powder Technology**, (2000).
- [6] Reddy, BV., Nag, PK., "Axial and radial heat transfer studies in a circulating fluidized bed", **Int. Journal of Energy Research**, Vol. 21, pp. 1109 -1122, (1997).
- [7] Reddy,B.V.,Basu,P., “A Model For Heat Transfer In a Pressurized Circulating Fluidized Bed Furnace”, **Int. Comm. Heat Mass Transfer**, Vol. 44, pp. 2877-2887, (2001).