



Kabarcıklı Akışkan Yataklı Bir Reaktörde Isı Geçişini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi

Oğuzhan ERBAŞ*

Öz

Akışkan yataklı kazanlar, konvansiyonel yakma sistemlerine göre düşük kaliteli yakıtların değerlendirilmesi açısından ekonomik, teknolojik ve çevreci olma özelliklerini taşımaktadır. Akışkan yatak teknolojisi, kömür, biyokütle, endüstriyel ve evsel atıkları temiz, güvenli ve yüksek verimli bir şekilde yakılabilmektedir. Bu bağlamda "akışkan yatakta yakma" nem ve kükürt oranı yüksek linyitlerimizin değerlendirilmesinde, verimin artırılması ve NO_x, SO₂ gibi zararlı emisyonların azaltılmasında önemli bir seçenektir.

Akışkan yatakta, basınçlandırılan yakma havası ile yatak partikülünde oluşturulan sürüklenme kuvveti ve yukarı yönde oluşan ortamsal kaldırma kuvveti toplamı, aşağı yönde oluşan yatak partikül yerçekimi kuvvetleri ile dengelenerek, yatak malzemesi kararsız yoğun türbülanslı ve sıvısal hidrodinamik özellikli bir davranışa zorlanır. Bu davranış akışkan yatakta hidrodinamiksel tasarımın ve ısı transfer mekanizmasının temelini oluşturur. Bu çalışmada; kabarcıklı akışkan yataklı bir reaktörde daldırılmış yüzeyden ısı geçişini belirleyen parametrelerin etkisi farklı test koşullarında deneysel olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kabarcıklı Akışkan Yatak, Daldırılmış Yüzey, Isı Transferi.

* Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
oguzhan.eras@dpu.edu.tr

Examination of Parameters Affecting Heat Transfer In a Bubbling Fluidized Bed Reactor

Abstract

Fluidized bed boilers have the characteristics of being economical, technological and environmentalist in terms of evaluation of low quality fuels according to conventional combustion systems. Fluid bed technology, coal, biomass, industrial and domestic waste can be burnt clean, safe and high efficiency. In this context, "fluid bed combustion" is an important option in the evaluation of our lignites with high moisture and sulfur levels, increasing the yield and reducing harmful emissions such as NO_x and SO₂. In the fluid bed, the sum of the drag force generated in the bed particle with the pressurized combustion air and the sum of the ambient lifting force in the upstream direction is compensated by the gravity forces formed in the downward direction and the bearing material is forced into a dense turbulent and fluid hydrodynamic behavior with unstable turbulence. This behavior forms the basis of the hydrodynamic design and the heat transfer mechanism in the fluid bed. In this study; The effect of the parameters determining the heat transfer from the immersed surface in a bubbling fluidized bed reactor was investigated experimentally under different test conditions.

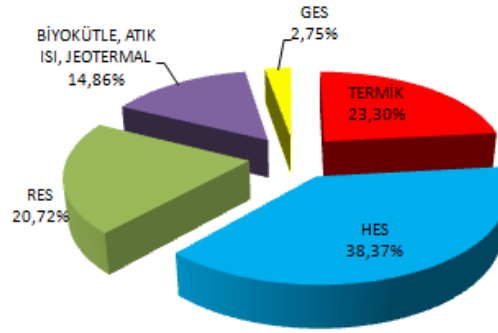
Keywords: *Bubbling Fluidized Bed, Immersed Surface, Heat transfer.*

Giriş

Ülkemiz açısından enerji arz güvenliğinin sağlanması kapsamında; dışa bağımlılığın azaltılması, sahip olduğumuz kaynakların rasyonel şekilde kullanılması, optimum kaynak çeşitliliği ve enerji verimliliği öncelikli politikalarımız arasında yer almalıdır. Doğal gaza bağımlı elektrik enerjisi üretim yapısı önemli bir risk taşıdığından, doğal gazın elektrik üretimindeki payının azaltılmasına ve ithalatta kaynak ülkelerin çeşitlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Şekil 1'de 2018 yılındaki enerji yatırımlarının alansal payları gösterilmiştir. Buna göre sırasıyla yatırım paylarının oranları; % 38,37 hidroelektrik santraller, % 23,30 termik santraller, % 20,72 rüzgâr santralleri, % 14,86 biyokütle-atık ısı -

jeotermal santraller ve % 2,75 ile de güneş enerjisi santralleri olmuştur (EİGM 2018 Yatırımlar Raporu, 2019: 1). Ülkemizde yerli kömür ile çalışan termik santrallerde termik verim ortalama olarak % 30-37 civarındadır. Kömür rezervlerimizin kullanılmasında ve temiz kömür teknolojilerinin uygulanmasında daha iyi verim, düşük maliyet, doğru kaynak kullanımı, daha iyi bir çevre, daha iyi sürdürülebilirlik ve daha iyi enerji güvenliği gibi ana hedefler yapılacak her çalışmada esas alınmalıdır. Sahip olduğumuz linyit rezervlerinin alt ısıl değerleri düşük, kül, nem ve kükürt oranları ise yüksektir.



Şekil 1. 2018 Yılı Enerji Yatırım Oranları

Akışkan yatak bu tür yakıtların verimli yanması ile ilgili uygun yanma koşullarının oluşturulması, temiz yanması ile ilgili olarak; SO₂ tutma, CO ve NO_x oluşumunu bastırma özellikleri ile ilave yatırım gerektirmeden, içsel emisyon kontrolü ile de temiz yanmayı olanaklı kılan bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır (Erbaş O., 2007:8). Bu sebeple, başta akışkan yatak teknolojisi olmak üzere temiz kömür yakma teknolojilerini yerli kömürlerimize uygun hale getirebilecek tasarım ve Ar-Ge çalışmalarına önem verilmelidir.

Akışkan yatak reaktörler, yakıt partiküllerinin hava ile akışkanlaştırılmış olduğu bir yanma odasında yakıldığı sistemlerdir. Yaklaşık % 90'ı yatak malzemesi, % 10'u ise yakıttan oluşan akışkan yatak; yatak malzemesinin yüksek ısıl kapasitesi nedeniyle büyük bir ısı deposu görevi gördüğü ve yoğun türbülans etkisi ile kolay-verimli tutuşma sağlandığı bir koşul sağlamaktadır (Blaszczuk A., Pogorzelec M., Shimizu T., 2018: 12). Her türlü düşük kaliteli yakıtın yakıldığı akışkan yatakta; linyitin yanı sıra çöp, tarımsal ve biokütle atıkları da temiz -

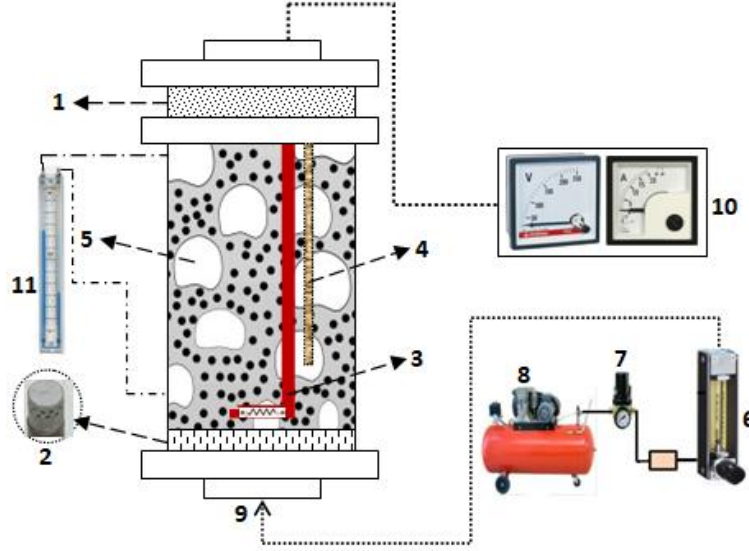
verimli bir şekilde yakılabilmektedir (Taofeeqa H., Al-Dahhan M., 2019: 550). Bu çalışmada; kabarcıklı akışkan yataklı bir reaktörde daldırılmış yüzeyden ısı geçişini etkileyen parametrelerin etkisi farklı test koşullarında deneysel olarak incelenmiştir.

Kabarcıklı Akışkan Yatakta Isı Geçişini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi

Akışkan yatakta, basınçlandırılan yakma havası ile yatak partikülünde oluşturulan sürüklenme kuvveti ve yukarı yönde oluşan ortamsal kaldırma kuvveti toplamı, aşağı yönde oluşan yatak partikül yerçekimi kuvvetleri ile dengelenerek, yatak malzemesi kararsız yoğun türbülanslı ve sıvısal hidrodinamik özellikli bir davranışa zorlanır. Bu davranış akışkan yatakta hidrodinamik tasarımın ve ısı transfer mekanizmasının temelini oluşturur (Zhang Y., Wei Q., 2017: 21).

Reaktörde akışkanlaşma hızı ile serbest bölge yüksekliğini ve yatağın hidrodinamik yapısını doğrudan etkileyen parametre tanecik hareketidir (Jenson N., Eldin W., 2016:230). Deney sisteminde taneciklerin akışkanlaşma esnasındaki davranışlarını gözlemleyebilmek için reaktör yani ana kolon cam silindirik bir yapıda imal edilmiştir. Reaktör içerisine; haznedeki akışkanlaştırma havasını ve tanecikli malzemeyi ısıtmak için kullanılan voltmetre-ampermetre ile gücü kontrol edilebilen daldırma tip bir ısıtıcı yüzey yerleştirilmiştir.

Basınçlı akışkanlaştırma havasını sağlayan kompresörden gelen akışkanın debisini ayarlayan bir regülatör ve akış debisini ölçen bir rotametre bulunmaktadır. Reaktöre ulaşan akışkanlaşma havası, yatak içerisinde homojen bir dağılım sağlayan ve üzerinde nozulların bulunduğu dağıtıcı plakadan geçmektedir. Yatak içerisindeki basınç değerini ölçmek için bir manometre ile yine yatak sıcaklığını ölçmek için bir termokupl deney sistemine dahil edilmiştir. Yatak sıcaklığı değeri ayrıca bir termostat sayesinde de kontrol edilebilmektedir. Şekil 2’de kabarcıklı akışkan yatak reaktör deney sistemi gösterilmiştir.



1-Filtre 2-Hava Nozulları 3-Daldırılmış Yüzey 4-Termokupl (Yatak sıcaklığı için) 5- Hava Kabarcığı
6- Akış Debi Ölçer 7- Regülatör 8- Kompresör 9- Basınçlı hava girişi 10- Kontrol paneli
(Ampermetre-Voltmetre) 11- Manometre

Şekil 2. Kabarcıklı Akışkan Yatak Deney Sistemi

Kabarcıklı akışkan yatak içerisine konumlandırılan ısıtıcı yüzey dikey ekseninde hareket edebilir özelliktedir. Yatak çerçevesini oluşturan cam silindirin iç çapı 240 mm ve yatak yüksekliği ise 425 mm'dir. Deneyler sırasında; ısıtıcı yüzey sıcaklığı, yatak sıcaklığı, hava giriş sıcaklığı, hava debisi, yatak basınç düşümü, elektrik akımı ve voltaj değerleri sürekli olarak ölçülerek kaydedilmiştir. Kompresörden gelen basınçlı hava dağıtıcı elek üzerine yerleştirilmiş hava nozullarına ulaşmaktadır. Özel olarak imal edilen hava nozulları, basınçlı havanın yatak içerisinde homojen bir şekilde dağılmasını sağlamaktadır. Kabarcıklı akışkan yatak üst bölgesinde bulunan filtrenin tıkanmamasına özen gösterilmiştir. Yatağın akışkanlaşmasını sağlayan basınçlı hava; tank hacmi 200 L ve kapasitesi 7,5 bar (0,34 m³/dk) olan akuple yapıya sahip bir vidalı kompresörden sağlanmıştır. Basınçlı hava debisinin ölçülmesinde şamandıralı ve ayar vanasına sahip polipropilen gövdeli debimetre kullanılmıştır. Deney sisteminin alt ve üst noktaları yatak malzemesinin kolaylıkla değiştirilmesine olanak sağlayacak sızdırmaz flanşlı bir konstrüksiyona sahiptir.

Kabarcıklı Akışkan Yatağın Hidrodinamik Yapısı

Kabarcıklı akışkan yataklı sistemlerde kabarcıklar, yatak kütlelerini oluşturan parçacıkların ana kolon içerisinde hidrodinamik açıdan hareketini sağlayarak yeterli bir karışmaya olanak sağlamaktadır. Akışkan yatak içerisindeki oluşan kabarcık yükselme hızı, kabarcık büyüklüğü ve kabarcık ile yoğun faz boşluk oranı başta olmak üzere; kabarcık faz - yoğun faz arasındaki katı madde geçişi ile yatakta aksel olarak değişim gösteren kabarcık çapı özellikleri bu yapının karakteristiğini oluşturmaktadır. Kabarcık çapının yatak içerisinde yükselirken büyümesi, kabarcık hızının da artmasına sebep olmaktadır.

Geldart Grup D partikülleri için havanın debisinin artırılması gaz kabarcık oluşumunun artmasına sebep olur. Kabarcıkların dışında kalan yatak bölgesine emülsiyon faz veya seyreltik faz denir. Geldart Grup A partikülleri için ise minimum kabarcıklanma hızına kadar kabarcık oluşumu gözlenmez. Grup A partikülleri için minimum kabarcıklanma hızı (U_{mb}) Eşitlik 1'deki korelasyon ile hesaplanmaktadır (Dülger., S., 2007).

$$U_{mb} = 2,07 \cdot \exp(0,716 \cdot F) \cdot d_p \cdot \left(\frac{\rho_g^{0,06}}{\mu^{0,347}} \right) \quad (1)$$

Kabarcık, içerisinde çok az miktarda veya hiç katı olmayan gaz boşluğudur. Kabarcıklar, içerisindeki gazın yoğunluğu sayesinde emülsiyon fazı içerisinde yukarıya doğru hareket ederler. Kabarcığın ulaştığı maksimum kararlı ölçü Eşitlik 2'deki korelasyon ile hesaplanabilir.

$$D_{bmax} = 2 \cdot (U^*_t)^2 / g \quad (2)$$

Kabarcıklar, yukarıya doğru olan bu hareketleri sırasında az miktarda taşıdıkları parçacıkları, yatak yüzeyine ulaşıp patladıklarında yatak yüzeyi çevresine dağıtırlar. Bu işlemin yaşandığı bölgeye serbest bölge denilmektedir. Bu işlemin gerçekleşmesinde önemli olan bölge kabarcık altındaki girdap bölgesidir. İçerisindeki basınç daha az olduğu için parçacıkları içine çekmektedir. Yüzeydeki patlamadan sonra yüzeye taşınan bazı parçacıklar çapraşık yollarla yoğun bölgeye geri dönerler.

Yatağın üst bölgelerine doğru katı kütle akısı eksponansiyel olarak azalmaktadır. Bir yerden sonra gaz ile yataktan taşınıp yoğun yatağa dönen katı

kütle miktarı ihmal edilebilir boyutlarda olur. Bu yüksekliğe serbest taşınım yüksekliği denir. Serbest taşınım yüksekliğinin ötesinde, taşınan parçacıkların katı kütle akısı oranı, elutrasyon oranı olarak bilinir.

Oluşan kabarcıklar birleşerek yatağın bütün kesitini kaplarsa oluşan bu büyük kabarcıklar, üzerinde taşıdıkları yatak malzemesini bir piston gibi vururlar. Bu akışkanlaşmayı bozucu bir olaydır ve verimi düşürür. Bu olaya “Yığışım” (Slugging) denir. Büyük ölçüde yatağın geometrisine bağlı bir problemdir, örneğin yatağın çapı küçük ve çok derinse bu olayın gerçekleşmesi mümkündür (Dülger., S.,2007).

Yığışma oluşumu için gerekli diğer bir kriter ise ortalama yatak malzemesi çapı için terminal hızıda içeren aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir.

$$\frac{U_t^2}{g \cdot D} \geq 0,123 \quad (3)$$

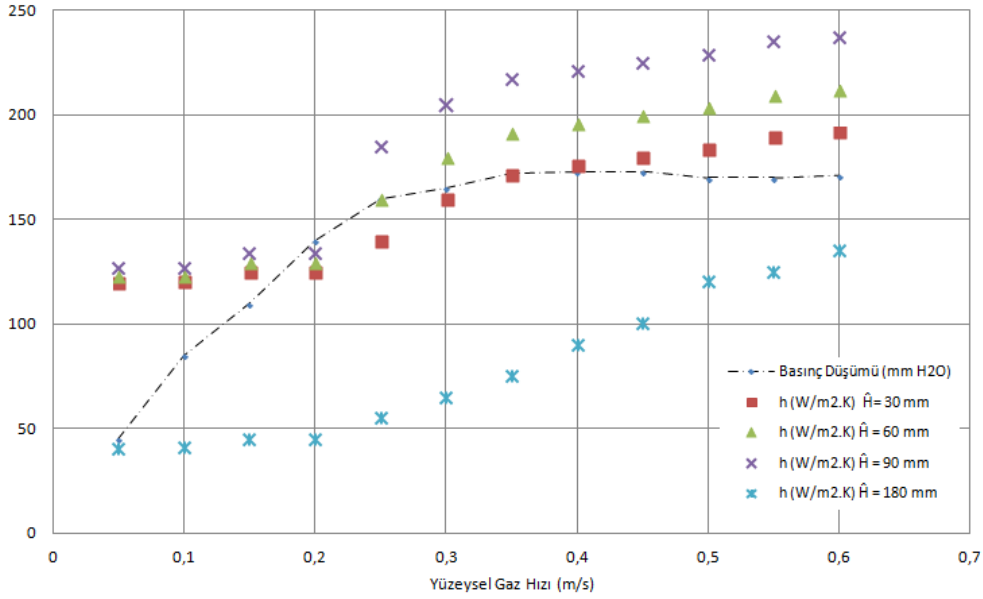
Kabarcıklı Akışkan Yatakta gaz hızı minimum kabarcıklanma hızının üzerinde arttırılırsa yatağın genişlediği görülür. Bunun sebebi kabarcık oranının artması, emülsiyon fazda genişleme ve kabarcıkları ayıran emülsiyon duvarlarının incelmeleri olarak açıklanabilir. Kabarcık fazı özelliğini yitirmeye başlar. Parçacıklar yatağın üzerindeki serbest bölgede taşınmaya başlanır. Minimum yığışma hızı hesabı için ise Eşitlik 4 kullanılabilir.

$$U_{sl} = U_{mf} + 0,07 \cdot (g \cdot D)^{0,5} \quad (4)$$

Sonuçlar ve Tartışma

Taneciklerin bulunduğu bir kolon içerisindeki yatak bölgesine önce yukarı yönde düşük bir hızla hava verilmeye başlandığında, akışkanlaştırma havası parçacıklar üzerinde daha fazla kuvvet uygulayamaz, tanecikler arasından kendine geçiş yolu bularak yukarı yönde hareket etmeye başlar. Partiküllerin hareket etmediği bu durum “sabit yatak” olarak adlandırılır. Partiküllerin arasındaki yerçekiminden kaynaklanan kuvvetleri azaltacak yani partiküllere daha fazla kuvvet uygulayacak şartları sağlamak için basınçlı hava hızı yavaş yavaş arttırılmıştır. Hava akış hızının giderek artması sonucu; taneciklerin üzerindeki kaldırma kuvveti yerçekimini dengeleyerek, reaktör içerisindeki taneciklerin asılı kalmalarını sağlamaktadır. Partikül üzerine uygulanan kuvvetlerin vektörel

toplamının sıfır olduğu bu duruma “minimum akışkanlaşma koşulu” adı verilir. Şekil 3’de yatak malzemesinin ortalama $450 \mu\text{m}$ çapında silis kumu olarak kullanıldığı koşuldaki reaktörde, yüzeysel gaz hızı ile yatak basınç düşümünün değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3. Yüzeysel Gaz Hızı ve Daldırılmış Yüzey Konumunun Isı Transfer Katsayısına Etkisi ($450 \mu\text{m}$, Silis Kumu)

Ayrıca Şekil 3’de akışkan yatak reaktör içerisinde konumlandırılan daldırılmış ısıtıcı yüzeyin hava nozullarının bulunduğu dağıtıcı plakaya uzaklığı (\hat{H}) ile ısı transfer katsayısına etkisi de görülmektedir. Sırası ile 30 mm, 60 mm ve 90 mm yüksekliklerde gittikçe ısı transfer katsayısının arttığı görülmüştür. Fakat 180 mm uzaklıkta ise ısı transfer katsayısı düşmüştür. Bu nokta hidrodinamik açıdan yoğun faz olarak adlandırılan bölgenin sınır çizgisi olarak kabul edilebilir. Minimum akışkanlaşma koşulunda basınçlı hava hızı daha da arttırıldığında, yatak bölgesinin kapladığı ve hacmi fazla değiştirmeyen, hava kabarcıklarının oluştuğu şartlar gerçekleşmektedir.

Suyun kaynamasına benzer bir şekilde kabarcıklar yatağı terk etmektedir. Hava ile tanecik karışımının kapladığı hacmin sabit yatak konumuna göre belirgin bir şekilde artmasına rağmen, reaktörde yatak bölgesi üzerinde bulunan serbest

bölge ayırımı halen yapılabilmektedir. İçerisinde çok az ya da hiç katı olmayan gaz boşlukları olarak da tanımlanan kabarcıkların kaldırma kuvvetinin etkisiyle partikülleri geçerek emülsiyon fazı içerisinde yükseldiği görülmektedir. Reaktör içerisinde, partikül çapı, gaz hızı ve hava nozulları üzerindeki konumuna bağlı olarak kabarcık boyutları değişmektedir. Kuyruklarında bir miktar partikül taşıyan kabarcıklar bir süre sonra yatak yüzeyinde patlamaktadır. Bu şekilde beraberinde taşıdıkları partiküller yatak yüzeyinde çevreye dağılmaktadır. Taşınan partiküller yukarıya doğru momentumları ve bölgesel gaz sürüklenme kuvvetine bağlı olarak yükselmektedir.

Extended Summary

Introduction

Within the scope of providing energy supply security for our country; Reducing foreign dependency, rational use of the resources we have, optimum resource diversity and energy efficiency should be among our priority policies. As the production structure of natural gas-dependent electric energy carries a significant risk, it is necessary to reduce the share of natural gas in electricity generation and to diversify the countries of importation. The thermal efficiency of domestic coal-fired thermal power plants in our country is around 30-37% on average. The main objectives such as better efficiency, low cost, correct resource utilization, better environment, better sustainability and better energy security should be used in every study to be used in the utilization of coal reserves and application of clean coal technologies (Mahmood, A. 2005). Lignite reserves have low thermal values, ash, moisture and sulfur ratios are high.

Fluidized bed in relation to the efficient combustion of such fuels, the creation of suitable combustion conditions, clean combustion; The SO₂ retention is a technology that enables the combustion of CO and NO_x with the features of suppressing the internal emission control without requiring additional investment (Erbaş., O. 2007: 8). For this reason, design and R & D studies should be given importance which can make clean coal burning technologies, especially fluidized bed technology, suitable for our domestic coal. Fluidized bed reactors are systems in which combustion of fuel particles in a combustion chamber in which air is fluidised. Approximately 90% of the bearing material and 10% of the fuel fluidized

bed; Due to the high thermal capacity of the bearing material, it provides a condition where a large heat storage and easy turbulence effect is achieved with easy turbulence effect (A. Blaszcuk, M. Pogorzelec, T. Shimizu, 2018: 12). Fluid bed where all kinds of low-quality fuel is burned; In addition to lignite, waste, agricultural and biomass wastes can also be burned cleanly (Taofeeqa H., Al-Dahhan M.2019: 550). In this study; The effect of the parameters affecting the heat transfer from the immersed surface in a bubble fluid bed reactor was investigated experimentally under different test conditions.

Examination of Parameters Affecting Heat Transfer In a Bubbling Fluidized Bed

In the fluid bed, the sum of the drag force generated in the bed particle with the pressurized combustion air and the sum of the ambient lifting force in the upstream direction is compensated by the gravity forces formed in the downward direction and the bearing material is forced into a dense turbulent and fluid hydrodynamic behavior with unstable turbulence. This behavior is the basis for the hydrodynamic design and the heat transfer mechanism in the fluid bed (Zhang Y., Wei Q., 2017: 21). It is the parameter particle motion which directly affects the free zone height and hydrodynamic structure of the bed with fluidization rate in the reactor (Jenson N., Eldin W., 2016: 230).

Heat transfer is an important design aspect in many applications of fluidized bed technology. It is used either to obtain energy transfer between gas and solid particles or to obtain energy transfer between the two-phase mixture and an immersed surface. Heat transfer in a fluidized bed between an immersed surface and the bed tends to be efficient due to vigorous contact of solids particles with the surface.

In order to observe the behaviors of the particles during the fluidization in the experimental system, the reactor, ie the main column, is manufactured in a cylindrical structure. Into the reactor; a immersion-type heater surface, which can be controlled by the voltmeter-ammeter, is placed to heat the fluidizing air in the reservoir and the particulate material. There is a regulator which regulates the flow rate of the fluid coming from the compressor which provides the pressurized fluidizing air and a rotameter measuring the flow rate. The fluidizing air that reaches the reactor is passed into the bed in a homogenous manner and passes

through the distributor plate with nozzles on it. A thermometer is used to measure the bearing temperature with a pressure gauge to measure the pressure inside the bed. The bed temperature can also be controlled by a thermostat.

Hydrodynamic Structure of Bubbling Fluidized Bed

The behavior of gas-fluidized beds is controlled by bubbles, which characterize these systems. Bubbles are formed at the bottom of the bed, rise up, coalesce as they are rising up and burst violently at the bed surface. Their size and rise velocity increase as they move up in the bed. It is necessary to distinguish between bubble phase and emulsion phase. The gas void which contains virtually no bed particles is called a bubble, and the gas void which contains fluidized particles is called particulate phase, or emulsion phase. Bubbling bed can be defined as a bed in which the bubble phase is scattered and emulsion phase is continuous. The motion of emulsion phase is caused by rising bubbles. It is the main source of solid mixing in bubbling beds. Gas in the bubble is not in contact directly with bed particles, so that it cannot take a part in any reaction between gas and solids. In a typical gas-solid bubbling fluidized bed, the solids volume fraction in the emulsion phase is around 0.4-0.45, close to its value at minimum fluidization conditions.

The shape of a bubble in a fluidized bed is mainly controlled by its surrounding solids and flowing medium. For small bubbles, the bubble shape is almost spherical due to the dominance of surface tension. When a bubble has an intermediate size, its shape tends to be oval with a sphere cap. Bubbles become slugs when they are large. The shape of a slug can be a round spherical cap with a flat bottom like a bullet or is like a half bullet when a slug is attached to the bed wall.

When there is a large number of fine particles such as fine powders or catalysts, gas (or liquid) and fine particles are mixed together to form the emulsion phase. Bubbles (void spaces) rise much faster than the upward flowing gas in emulsion phase, promoting circulation and mixing of particles. In such a fluidized bed, only two phases, bubble phase and emulsion phase, need to be considered. When the flowing medium is liquid, the emulsion phase is the liquid-like flow after mixing with particles and thus can be easily distinguished from air bubbles. In a gas-solid fluidized bed, the excessive flow, reaching minimum bubbling velocity,

passes through the fluidized bed and creates void spaces that behave like air bubbles and have been observed in actual experiments.

In bubbling fluidized bed systems, the bubbles allow sufficient mixing by allowing the particles forming the bed mass to move in the main column in a hydrodynamic manner. The rate of bubble rise in the fluid bed, bubble size and the density of the bubble and the dense phase gap are; bubble phase - dense phase with the transition between the solid matter in the bed with axial changes in the bubble diameter characteristics are characteristic of this structure. When the bubble diameter grows in the bed, the bubble speed increases.

During these upward movements, the bubbles distribute the small amount of particles that they carry, around the bed surface when they reach the bed surface and explode. This region is called the free zone. The region that is important in this process is the vortex area under the bubble. As the pressure inside is less, it attracts the particles. After the explosion of the surface, some particles that are transported to the surface return to the dense area by means of crosswise paths.

The solid mass flow towards the upper parts of the bed exponentially decreases. The amount of solid mass which is transported from the bed with gas and then returned to the dense bed is negligible. This height is called the free transport height. Beyond the free transport height, the solid mass flow rate of the transported particles is known as the elutriation rate. If the bubbles formed combine to cover the entire cross-section of the bed, these large bubbles form a bearing material like a piston. This is a disruptive event and reduces the efficiency.

Results and Discussion

A gas-solid bubbling fluidized bed is considered to be non-homogeneous, chaotic system in which the hydrodynamics is complex and the fluidization quality is hard to control. In the bubbling bed, large bubbles tend to reduce the gas-solid contact and restrict the heat transfer. Agglomeration of fine particles results in channeling and poor fluidization quality. In order to enhance the performance of fluidized beds, flow pulsation through a solenoid valve at desired frequencies is employed.

Fluidized beds are widely used to achieve either chemical reaction or physical processing that require interfacial contact between gas and solid particles.

Fluidization is a process by which solid particles are transformed into a fluid like state through suspension in a gas or liquid (Kunii and Levenspiel, 1991). Under fluidization state gravitational force which pulls down solid particles is offset by the fluid drag force on them. Thus, particles remain in a semi-suspended condition.

Bubble size increases with gas velocity as well as the bed height. This growth is mainly due to large bubbles absorbing smaller bubbles in the vicinity during the rising process, and it lasts until the bubbles approach their maximum stable size. Bubbles bursting at the surface, increase heat transfer at lower velocities by causing more intensive particle motion, however, too large bubbles generated at higher velocities tend to cover the heater surface and inhibit the heat transfer (Zhang, D. ,2005).

Heat transfer improvement can be also achieved with a perforated distributor and partial pulsation. Flow pulsation can enhance the movement of stagnant particles on top of the heater, resulting in significant temperature increase in this region. The local HTC around the heater can be improved and a more uniform temperature distribution can be obtained.

When the transient pressure of flow pulsation exceeds the mean pressure drop at the Reproduced with permission of the copyright owner. Further reproduction prohibited without permission. Particles vibrate at the pulsation frequency, and the dominant frequency of the pulsed bed corresponds to the pulsation frequency. The bed expansion (particle displacement) generally increases with decreasing pulsation frequency. The large amplitude of pressure fluctuation in the pulsed bed can be attributed to the inertia force of the particles.

When air is first introduced into the bed region in a column with particles at a low speed, the fluidizing air cannot exert more force on the particles, and starts to move in the upward direction by finding a passageway between the particles. This is called bu fixed bed yatak when the particles do not move. The speed of the pressurized air is gradually increased to reduce the forces caused by gravity between the particles, ie, to provide more force to the particles. As a result of increasing air flow rate; The buoyancy force on the particles allows the particles in the reactor to be suspended by balancing gravity. This is called the ekim minimum fluidisation condition, where the vector sum of the forces applied on the particle is zero.

Increased heat transfer coefficient was observed at 30 mm, 60 mm and 90 mm heights respectively. However, the heat transfer coefficient decreased at 180 mm distance. This point can be considered as the boundary line of the so-called hydrodynamically dense phase. When the compressed air velocity is further increased in the minimum fluidization condition, the conditions in which the air bubbles are formed, which are not covered by the bed area and do not change the volume too much. In a similar way to the water boiling, the bubbles leave the bed.

A gas-solid bubbling fluidized bed is considered to be non-homogeneous, chaotic system in which the hydrodynamics is complex and the fluidization quality is hard to control. In the bubbling bed, large bubbles tend to reduce the gas-solid contact and restrict the heat transfer. Agglomeration of fine particles results in channeling and poor fluidization quality. In order to enhance the performance of fluidized beds, flow pulsation through a solenoid valve at desired frequencies is employed.

Kaynakça

Kitaplar

Kunii, D. and Levenspiel, O., (1991) Fluidization Engineering (2nd ED.!). ButterworthHeinemann, Boston, Maine.

Makaleler

A. Blaszczyk, M. Pogorzelec, T. Shimizu, (2018). Heat transfer characteristics in a large-scale bubbling fluidized bed with immersed horizontal tube bundles, Energy, 162, 10-19.

Taofeeqa H., Al-Dahhan M. (2019). Investigation of the effect of vertical immersed tube diameter on heat transfer in a gas-solid fluidized bed, International Journal of Thermal Sciences, 135, 546-558.

Zhang Y., Wei Q. (2017).CPFD simulation of bed-to-wall heat transfer in a gas-solids bubbling fluidized bed with an immersed vertical tube, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 116,17-28.

Jenson N., Eldin W. (2016). Effects of particle size and bubbling behavior on heat transfer in gas fluidized beds, Applied Thermal Engineering, 105, 225-242.

Web Siteleri

EİGM,(2019). 2018 Yatırımlar Raporu. 10 Ocak 2019'da <http://www.eigm.gov.tr/tr>
TR/Raporlar adresinden erişim sağlanmıştır.

Tezler

- Erbaş.,O.(2007). Dolaşımli Akışkan Yatakta Isı Transferi Mekanizması ve Bu Mekanizmanın Kuramsal ve Deneysel Analizi, Doktora Tezi, Gazi Üniv. Fen Bilimleri Ens., Ankara.
- Zhang, D. (2005). Hydrodynamics and heat transfer in a pulsed bubbling fluidized bed (Order No. MR01992). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (305376819). Retrieved from
- Mahmood, A. (2005). Simulation of hydrodynamics and heat transfer in bubbling fluidized beds (Order No. MR01962). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (305376640).
- Dülger., S.,(2007). Akışkan Yataklı Kömür Yakma Sistemlerinde Otomatik Kontrol Tasarım ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniv. Fen Bilimleri Ens., Ankara.