

JAMESON FLOTASYON HÜCRESİNDE ÖNEMLİ ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN HAVA TUTUNUMU VE GİREN HAVA MİKTARINA ETKİLERİ

The Effects of Important Operating Parameters on Air Hold-up and Air Entrainment Rate in Jameson Cell

Tuba TAŞDEMİR^(*)
Bahri ÖTEYAKA^(**)
Adem TAŞDEMİR^(***)

ÖZET

Bu çalışmada, Jameson flotasyon hücresinde önemli çalışma parametrelerinin (Jet uzunluğu, jet hızı, nozul çapı, düşeyboru çapı ve APR oranı:hava/besleme debisi oranı) ikili faz (hava/su) sisteminde, uygun köpürtücü dozajında, düşeyboru içindeki hava tutunumu (air hold-up) ve giren hava miktarı üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, beş çalışma parametresinin farklı değer aralıkları kullanılarak hava tutunumu ölçümleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda jet uzunluğunun ve jet hızının artması ile hava tutunumu ve giren hava miktarının arttığı; nozul çapının artması ile hava tutunumunun azaldığı ancak giren hava miktarının arttığı; düşeyboru çapının artması ile hava tutunumunun arttığı, fakat giren hava miktarının değişmediği tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Jameson flotasyon hücresi, Hava tutunumu, Giren hava miktarı.

ABSTRACT

In this study, the effects of important operating parameters (free jet length, jet velocity, nozzle diameter, downcomer diameter and APR:air/pulp ratio) on hold-up and air entrainment rate in downcomer with a suitable frother dosage (air/water system) in Jameson cell were investigated. Hold-up measurements were done with five operating parameters by using their different range values. The results of the experimental studies show that hold-up and air entrainment rate increase with increasing free jet length and jet velocity, increasing nozzle diameter increases the air quantity but decreases hold-up, increasing downcomer diameter increases hold-up but the air entrainment rate does not change.

Keywords: Jameson flotation cell, Air Hold-up, Air entrainment rate.

^(*) Araş. Gör. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Müh. bölümü, Eskişehir, tubat@ogu.edu.tr

^(**) Prof. Dr., Dumlupınar Üniversitesi, Maden Müh. bölümü, Kütahya

^(***) Araş. Gör. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Müh.Böl. Eskişehir

1. GİRİŞ

Jameson flotasyon hücresi, flotasyonu sorunlu ince taneli minerallerin flotasyon verimini arttırmak amacıyla son yıllarda geliştirilmiş yeni bir alettir. Çalışma ilkeleri ve tasarımı açısından diğer flotasyon aletlerinden farklı olan Jameson hücresi üzerine araştırmalar halen devam etmektedir. 1989 yılında Profesör Greame Jameson tarafından tasarlanan flotasyon hücresi günümüzde endüstriyel boyutta yaygın olarak uygulanmaktadır.

Jameson flotasyon hücresinin ince taneli minerallerin flotasyonunda tercih edilen alet olmasının iki nedeni vardır. Bunlardan birincisi; aletin küçük boyutta hava kabarcığı üretmesi ve düşeyboruda yüksek yoğunlukta hava kabarcığının bulunması (yüksek hava tutunumu/hacimsel hava miktarı) nedeniyle tane kabarcık arasındaki çarpışma olayının olasılığının yüksekliğidir. İkincisi ise; tanenin alet içinde kalma süresinin (residence time) kısa olması nedeniyle yüksek zenginleştirme kapasitesidir. Bu iki durum Jameson hücresine büyük avantajlar sağlamaktadır (Harbort vd, 2002, 2003; Jameson ve Manlapig, 1991; Bangerter, 1998, Evans vd, 1995; Kennedy, 1990; Summers vd, 1993).

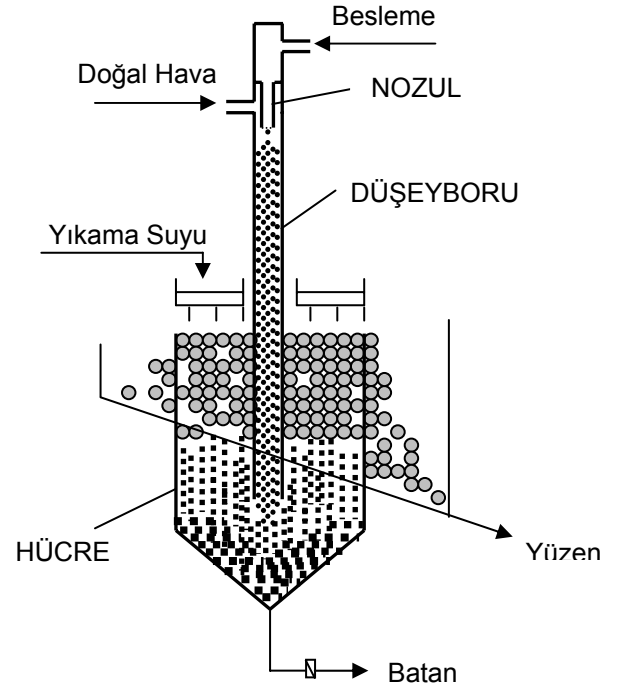
Şekil 1'de görüldüğü gibi jameson hücresi temel olarak iki ana bölümden oluşmaktadır:

- İlki, basınç altında pülpün beslendiği ve tane-kabarcık temasının sağlandığı (flotasyonun mikro-olaylarının gerçekleştiği) silindirik bir düşeyboru,
- Diğeri ise, ayırımın gerçekleştirildiği (tane yüklü kabarcıkların pülp'ten ayrılarak köpük zonundan uzaklaştırıldığı) hücre.

Düşeyborunun içinde, pülpün yüksek basınç altında sisteme verilmesini sağlayan bir nozul (basınçlı besleme memesi) ve düşeyborunun üst kısmında ise düzenli hava girişinin sağlandığı hava giriş deliği bulunmaktadır. Hücre dışında koşullandırılan pülp, yüksek basınç altında (110-170 kPa) pompa yardımıyla nozula beslenir. Pülp nozuldan yüksek bir hızla düşey boruya su jeti şeklinde geçer. Nozula besleme esnasındaki yüksek basınç ve nozul çıkışında oluşan alçak basınç farkı nedeniyle, doğal hava girişinden hava vakumlanır. Hidrostatik basınç farkı ile emilen hava, dalan su jeti yardımıyla pülp çözeltisi içine alınır. Emilen havanın debisi kontrol edilerek düşeyborunun belli bir

seviyesinde pülp-hava karışımı sağlanır. Karışımın başladığı seviye ile nozul ucu arasında kalan mesafeye su jeti uzunluğu adı verilir. Vakumlanan doğal hava pülp içinde çapları oldukça küçük hava kabarcıklarına (400-800 mikron) dönüşür. Dar hacimde oluşan kabarcık ve taneciklerin yüksek karışım ve yüksek hava tutunumu (% 50-70) düşeyboruda hızlı ve zorunlu tane-kabarcık temasını ve haliyle hidrofob tanelerin hava kabarcıklarına yapışmasını sağlar.

Düşeyborunun alt ucu, hücrenin üst kısmında oluşan köpük zonunun altında olacak şekilde yerleştirilir. Buradan kabarcıklara yapışan taneler ve hidrofob taneler hücreye boşalır. Hücrenin kesit alanı düşeyboruya göre oldukça büyük olduğundan buradaki ortam düşeyboruya göre daha sakindir. Hidrofob taneler ve pülp çözeltisi hücrenin alt kısmından uzaklaştırılırken, tane yüklü kabarcıklar hücre içinde yukarı doğru yükselerek köpük zonu oluştururlar. Sistemin pozitif biasta çalışması ve arzu edilen köpük zonunun kalınlığını korumak amacıyla aynı zamanda hücrenin üst kısmından (özellikle temizleme flotasyonunda) yıkama suyu ilave edilir (Jameson ve Manlapig, 1991; Evans vd, 1995; Summers vd, 1995; Harbort vd, 2002, 2003; Bangerter, 1998, Summers vd, 1993).



Şekil 1. Jameson flotasyon hücresi

Başlangıçta sadece cevher hazırlama tesislerinde kullanılmak üzere geliştirilen bu teknoloji, kömürde yapılan pilot çaptaki uygulamaların iyi sonuç vermesi üzerine, kömür yıkama tesislerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda özellikle ince kömür kazanımı ve metal cevherlerinin flotasyonunda tercih edilmekle beraber solvent ekstraksiyonu, endüstriyel hammaddelerin zenginleştirilmesi ve atık suların arıtımında da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Bangerter,1998; Kennedy,1990; Jameson ve Manlapig, 1991; Harbort vd, 1997; Mohanty, 2001; Dawson vd, 1996, Summers vd, 1993).

Hava tutunumu, flotasyon kolonlarında verime etki eden önemli bir çalışma parametresidir. Hava tutunumdaki artışın flotasyon verimi üzerine iki önemli etkisi vardır (Öteyaka, 1994);

- Hava kabarcığı ile yüzebilir bir tanenin karşılaşma şansını artırır (olumlu etki).
- Özellikle iri taneli minerallerin flotasyonunda, tanecik (tanecikler)-kabarcık agregasının duraylılığını azaltır (olumsuz etki).

Klasik kolon üzerine yapılan teorik ve deneysel çalışmaların sonucunda belirtilen yukarıdaki önemli sonuçlar, Jameson flotasyon hücresinde de araştırmaya değerlidir. Klasik kolonlarda farklı yöntemlerle (plastik tüp manometreleri ve diğer manometreler) kolay ölçülebilen hava tutunumu , Jameson flotasyon hücresinin düşeyborusunda ölçümü zor bir çalışma değişkenidir.

Jameson hücresinde, hidrofob tanelerin hava kabarcıklarına yapıştığı düşeyboruda hava tutunumu genel olarak vakumlanan doğal havanın debisine bağlıdır. Düşeyboruya giren hava miktarını ise, su jetinin özellikleri ve düşeyboru içindeki sıvıya jetin dalma koşulları belirlemektedir (Evans vd, 1995; Ohkawa vd, 1985; 1986; 1987; Yamağawa vd, 1990; Funatsu vd, 1988). Jetin uzunluğu, nozul çapı (jetin çapı) ve jetin hızı gibi değişkenler dalma koşullarını etkilemektedirler. Aynı zamanda düşeyboru çapının ve hava/besleme debisi oranının da (APR) düşeyboru içindeki hava tutunumuna etkileri olabilir. Bu çalışmanın amacı, Jameson flotasyon hücresinde uygun köpürtücü dozajında, önemli çalışma parametrelerinin (jet uzunluğu, jet hızı, nozul çapı ve düşeyboru çapı, hava/besleme debisi oranı) hava tutunumu ve vakumlanan hava debisi üzerine etkilerini araştırmaktır. Deneysel çalışmalar ikili faz

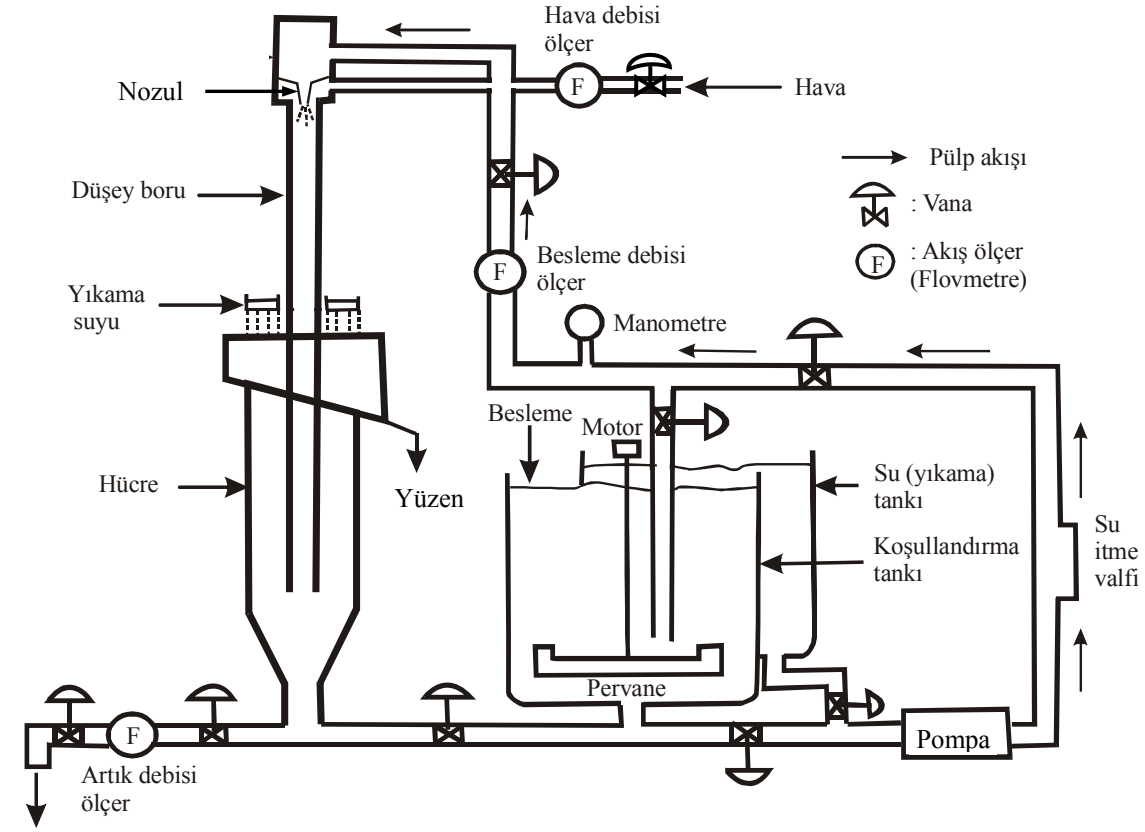
sisteminde (hava/su) yapılmıştır. Nedeni ise; hava tutunumunu ölçebilmek için kullanılan yöntemin tekniği ve hassaslığı olup, ayrıca kısa zaman dilimlerinde yapılan deneysel çalışmalarda sistemin bloke olmamasıdır (vanaların tıkanması, besleme pompasının sıkışması gibi). Bu araştırma sonucunda elde edilen sonuçlar üçlü faz için güvenle kullanılabilir. Çünkü sonuçlardaki sapmalar oldukça azdır. Katı fazlı sistemde yani flotasyon ortamında biraz daha düşüktür (Finch ve Dobby,1990; Summers, 1995; Banisi vd, 1995; Kantarcı vd, 2005).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda kullanılan deney düzeneği Şekil 2'de belirtilen temel elemanlardan oluşmaktadır. Jameson hücresi için farklı çaplarda düşeyboru, nozul ve hücreler yaptırılmıştır. Bu parçaların her biri, kolay bir şekilde sökölüp takılacak şekilde tasarlanmıştır.

Şeffaf pleksiglastan yapılmış iç çapları 145–195–295 mm olan üç hücre; iç çapları 16–21–26–36–46 mm olan şeffaf pleksiglastan yapılmış beş tane düşeyboru ve paslanmaz dökme çelikten imal edilen ve çıkış çapları 3–4–5–6–7–10 mm olan altı tane nozul bulunmaktadır. Jameson hücresi; besleme pompası, koşullandırma tankı ve su (yıkama) tankı taşınabilir tek bir platform üzerinde bir arada olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede çalışma kolaylığı ve rahatça her yere taşınabilme gibi pek çok avantajlar sağlanmıştır. Sistemde koşullandırma tankındaki pülpü düşeyboruya basınçlı bir şekilde beslemek için santrifüj tipi bir pompa, yıkama suyu için peristaltik pompa, besleme basıncını ölçmek için manometre, besleme-atık debimetreleri ve giren hava miktarının ölçülebilmesi için hava debimetresi (anemometresi) bulunmaktadır. Sadece su ve köpürtücünün kullanıldığı iki fazlı (hava+su) sistemdeki deneysel çalışmalarda:

- Besleme tankına su ve köpürtücü ilave edilerek (20 ppm, Aerofroth 65) iki dakika karıştırılmıştır. Bu karışım sabit devirli pompa aracılığı ile belirli bir basınç altında nozula gönderildiğinde, sistem çalışmaya başlamış ve hücre doldurulmuştur. Deneyler esnasında yıkama suyu kullanılmamış, artık çıkışı tamamen kapalı ve taşan su ise, besleme tankına geri beslenmiştir.
- Daha sonra hücrenin önceden belirlenen çalışma değişkenleri ayarlanmıştır. Besleme



Batan

Şekil 2. Jameson flotasyon hücresi deney düzeneği

borusu üzerinde bulunan vana sayesinde besleme basıncı ve jetin hızı değiştirilmiş, debimetre ile besleme debisi ölçülmüştür. Giren hava miktarı, hava giriş borusu üzerinde bulunan valf ile kontrol edilmiştir. Bu valfi açıp kısarak farklı jet uzunluğu değerleri elde edilmiştir. Deney sırasında hava giriş borusuna takılan debimetre ile giren hava hızı/debisi ölçülmüştür.

- Alet çalışır durumda 5 dakika beklenip dengeye ulaşıldıktan sonra besleme basıncı, besleme debisi, giren hava hızı değerleri kaydedilmiştir. Aynı zamanda aşağıda anlatılan yöntem kullanılarak hava tutunumu ölçümleri yapılmıştır. Her bir hava tutunumu ölçümü 3 kez tekrarlanıp ortalama değerler bulunmuştur.

Deneyisel çalışmalarda, düşeyborudaki hava tutunumunu belirlemek için izolasyon yöntemi (seviye eksilmesi ile doğrudan ölçme) kullanılmıştır (Liu ve Evans,1998; Marchese vd 1992; Evans vd 1995; Jakubowski vd 2003; Mandal vd 2005). Bu yöntemde sistem dengeli bir şekilde çalışır durumda iken, öncelikle jetin

uzunluğu ölçülmüştür. Düşeyboru şeffaf olduğu için nozul ucu ve jetin daldığı sıvı seviyesi arasındaki mesafe cetvelle ölçülerek jet uzunluğu olarak alınmıştır. Sonra, hem sistem hem de düşeyboru çıkışı lastik bir tıpa ile aynı anda hızlı bir şekilde kapatılarak belirli bir süre sonrasında (kabarcıklar tamamen patladıktan sonra) düşeyboru içindeki sıvı seviyesi ölçülmüştür. Ortalama hava tutunumu (ε) ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır (1):

$$\varepsilon = 1 - \frac{L_t}{L_c - L_j} \quad (1)$$

L_c : Düşeyborunun uzunluğu (cm)

L_j : Jetin uzunluğu (cm)

L_t : Düşeyboru kapatıldıktan sonra ölçülen sıvı seviyesi (cm)

Yapılan çalışmalarda beş çalışma parametresinin kullanılan değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Deneyisel çalışmalarda hücre çapı, düşeyboru dalma derinliği ve köpürtücü miktarı sabit tutulmuştur.

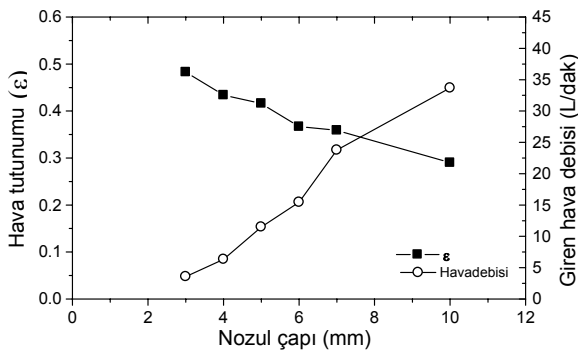
Çizelge 1. Deneysel çalışma koşulları

Hücre çapı (D_H)	195 mm
Düşeyboru çapı (D_D)	16, 21, 26, 36 ve 46 mm
Nozul çapı (D_N)	3, 4, 5, 6, 7 ve 10 mm
Köpürtücü mik.	20 ppm (aerofroth 65)
Düşeyboru dalma der.	40 cm
Jet hızı (V_J)	6.4, 8.1, 9.6, 11, 12.1, 13.3, 14.5 m/sn
Jetin uzunluğu (L_J)	3, 8, 13, 23, 33 ve 43 cm
APR	0.4-2 arasındaki değerler

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

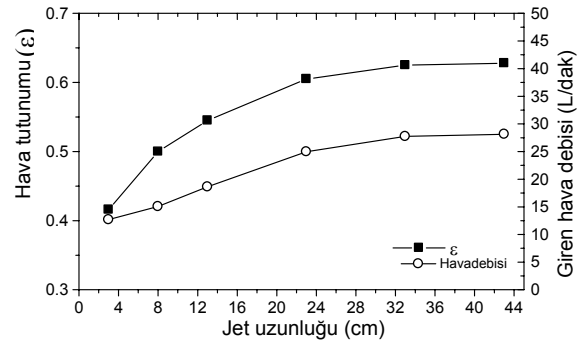
Tek düşeyboru ve farklı nozul çaplarının kullanıldığı deneylerde, sabit basınç ve jet uzunluğu değerlerinde ölçülen hava tutunumu ve hava debisi değerleri ve çalışma koşulları Şekil 3'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, nozul çapının artması ile hava tutunumunun düştüğü ve giren hava debisinin arttığı görülmektedir

Nozul çapının, yani giren sıvı debisinin (jet çapı) artırılması ile dalma zonunda jet ve içine girdiği sıvı arasındaki çarpışma alanının arttığını ve bunun sonucu olarak daha çok havanın sıvı içine alındığını söylemek mümkündür. Jet hızı sabit tutulduğunda, nozul çapının artırılması ile nozuldan düşeyboruya beslenecek sıvı debisi artmakta, böylece düşeyboru içindeki aşağıya doğru akan sıvının hızı ve kabarcıkların aşağıya doğru hızı artacaktır. Bu ise, düşeyboruda kabarcık kalma süresini azaltacak ve haliyle hava tutunumu da azalacaktır (Evans,1990; Ohkawa vd, 1985; 1986; 1987; Yamagiwa vd, 1990; Funatsu vd, 1988; Summers, 1995).



Şekil 3. Nozul çapının hava tutunumu ve giren hava debisine etkisi (D_H :195 mm, D_D :36 mm, Köpürtücü miktarı:20 ppm, Dalma derinliği:40 cm, Jet uzunluğu:3 cm, Jet hızı:11 m/sn)

Sabit nozulda (D_N :5 mm), jet uzunluğu değiştirilerek yapılan deney sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Düşeyboru şeffaf olduğundan nozul ucu ve sıvı seviyesi arasındaki mesafe cetvelle kolaylıkla ölçülerek jet uzunluğu belirlenmiştir. Sabit besleme basıncında, farklı jet uzunluğu değerlerinde ölçümler alınmış ve jet uzunluğunun artması ile hava tutunumu ve hava debisinin arttığı görülmüştür. Bunun nedeni ise Evans (1990), Ohkawa vd. (1985; 1986; 1987), Funatsu vd. (1988), Summers'ın (1995) belirttikleri gibi; jet uzunluğunun artması ile jetin yüzey pürüzlülüğü ve dalma noktasında jetin etkin çapı artmakta böylece dalan jet vasıtasıyla sıvı içine alınan hava miktarı da artmaktadır. Vakumlanan hava debisine bağlı olarak hava tutunumunda artış görülmektedir. Ancak belirli bir jet uzunluğu değeri (13 cm) aşıldığında, düşeyborudaki kabarcıklı akış koşulları bozularak büyük çaplı kabarcıkların meydana getirdiği istenmeyen türbülanslı akış koşulları oluşmaktadır (Taşdemir, 2006).

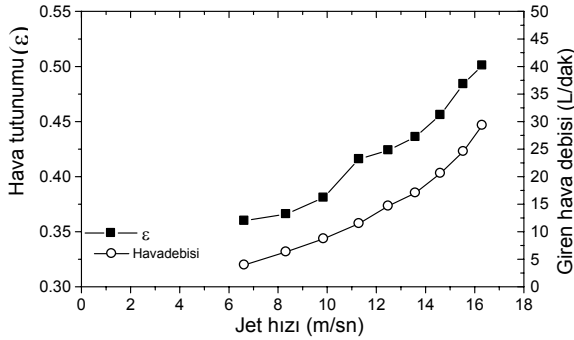


Şekil 4. Jet uzunluğunun hava tutunumu ve giren hava debisine etkisi (D_H :195 mm, D_D :36 mm, D_N :5 mm, Köpürtücü miktarı:20 ppm, Dalma derinliği: 40 cm, Jet hızı:11 m/sn)

Jet uzunluğu sabit tutulup (3 cm), jet hızının değiştirilmesi (besleme basıncının değişimi) ile yapılan deneylerin sonuçları ve çalışma koşulları ise Şekil 5'te verilmiştir. Jet hızı değerleri (besleme debisinin nozul kesit alanına oranı) besleme hattındaki vana ile besleme sıvının debisi-basıncı değiştirilerek, okunan sıvı debisi ve nozul çapının fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Farklı jet hızlarında yapılan hava tutunumu ve hava debisi ölçüm sonuçlarına göre; jet hızının artması, hava tutunumu ve hava debisini arttırmaktadır.

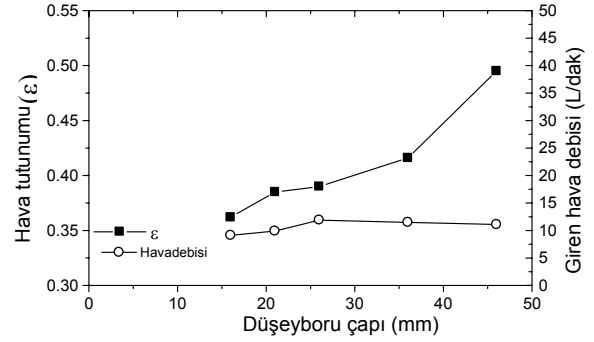
Jet hızının artması, jetin kinetik enerjisini arttırmaktadır. Jet düşeyboru içindeki sıvıya

daldığı anda, enerjisini sıvıya aktarmakta dolayısıyla jet ve jetin içine girdiği sıvı arasındaki bu etkileşim ile ince film şeklinde hava, sıvı içine alınmaktadır. Buna göre sonuçlar, jetin hızının artması ile enerjisinin arttığını ve daha fazla havanın sıvı içine alınarak hava tutunumunu artırdığını göstermektedir. Benzer bulgular Evans (1990), Ohkawa vd. (1985; 1986; 198), Yamagiwa vd. (1990); Funatsu vd. (1988), tarafından da elde edilmiştir. Ancak yüksek jet hızı değerlerinde (>16 m/sn) kabarcıkların birleşmesi sonucu istenmeyen türbülanslı akışlar meydana gelmektedir. Düşük jet hızlarında ise (<10 m/sn) daha büyük çaplı kabarcıklar oluşmaktadır (Taşdemir, 2006).



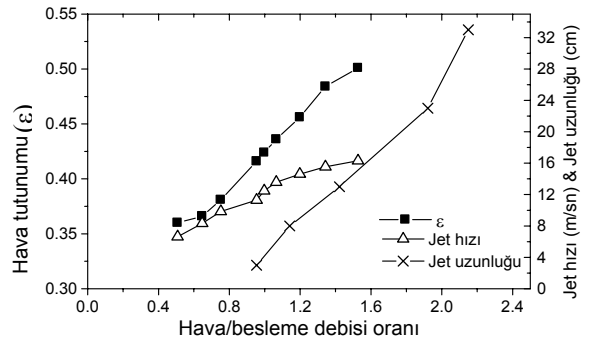
Şekil 5. Jet hızının hava tutunumu ve giren hava debisine etkisi (D_H : 195 mm, D_D :36 mm, D_N :5 mm, Köpürtücü miktarı:20 ppm, Dalma derinliği: 40 cm, Jet uzunluğu:3 cm)

Jet hızı, jet uzunluğu ve nozul çapının sabit tutulduğu sistemde düşeyboru çapının giren hava debisine ve hava tutunumuna etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerde, beş farklı düşeyboru kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar Şekil 6'da sunulmuştur. Sonuçlara göre; düşeyboru çapının giren hava debisini çok fazla değiştirmedeği, fakat hava tutunumunu arttırdığı görülmektedir. Giren hava debisinin jetin sıvıya dalma koşullarından ve jetin özelliklerinden etkilendiği ve düşeyboru çapından bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Düşeyboru çapının artması ile hava tutunumunun artmasının nedeni ise, düşeyboru çapının artması ile aşağıya doğru akan sıvı hızının azalmasından ve hidrostatik basınçtan dolayıdır. Nozul çapının etkisine benzer olarak düşeyboru içindeki sıvının hızının azalması sonucunda kabarcıkların aşağıya doğru hızlarının azalarak kalma sürelerinin artması ile hava tutunumu artmaktadır (Ohkawa vd, 1985; 1986; Yamagiwa vd, 1990; Funatsu vd, 1988).



Şekil 6. Düşeyboru çapı ile hava tutunumu ve hava debisi arasındaki ilişki (D_H :195 mm, D_N :5 mm, Köpürtücü miktarı:20 ppm, Dalma derinliği:40 cm, Jet uzunluğu:3 cm, Jet hızı:11 m/sn)

Düşeyboru ve nozul çapı sabit tutulduğunda, APR oranı (hava/besleme debisi oranı) jet hızı ya da jet uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. APR değerleri ile hava tutunumu- jet hızı - jet uzunluğu değerlerinin verildiği Şekil 7'ye göre; APR oranı arttığında hava tutunumunun arttığı, ayrıca jet hızı ve jet uzunluğu ile APR'nin arttığı görülmektedir. Yüksek APR değerlerinde (>1) düşeyboru içinde kabarcıkların birleşmesi sonucu istenmeyen türbülanslı akışlar meydana gelmekte ve sistem dengesiz hale gelmektedir. Düşük APR değerlerinde ise (0.3-1), üst boşluktaki havanın tamamı etkin bir şekilde emilebilmektedir. Karıştırma zonundan üst boşluğa geri dönen hava sirkülasyonu en düşük düzeydedir. Düşeyboru içindeki kabarcıklı akış zonunun uzunluğu artmakta ve böylece kabarcıkların kalma süresi de artmaktadır. (Evans,1990; Evans vd, 1995; Harbort vd, 2002; Cowburn vd, 2005, Taşdemir, 2006).



Şekil 7. APR ile hava tutunumu, jet hızı ve jet uzunluğu arasındaki ilişki (D_H : 195 mm, D_D :36 mm, D_N :5 mm, Köpürtücü miktarı: 20 ppm, Dalma derinliği: 40 cm)

4. SONUÇLAR

Çalışma parametrelerinin (Jet uzunluğu, jet hızı, nozul çapı, düşeyboru çapı ve hava/besleme debisi oranı) sisteme giren doğal havanın debisine ve haliyle hava tutunumu üzerine önemli etkileri olduğu ikili faz sisteminde saptanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular şunlardır:

- Nozul çapının artması ile giren hava debisi artmakta, hava tutunumu azalmaktadır.
- Jet uzunluğunun artması ile giren hava debisi ve hava tutunumu artmaktadır.
- Jet hızının artması ile giren hava debisi ve hava tutunumu artmaktadır.
- Düşeyboru çapının artması ile giren hava debisi değişmemekte, hava tutunumu artmaktadır.
- Hava/besleme debisi oranının artması (APR) ile hava tutunumu artmaktadır.

Belirli jet hızı, jet uzunluğu ve APR değerleri aşıldığında, düşeyboru içindeki kabarcıklı akış koşulları bozularak büyük kabarcıkların meydana getirdiği istenmeyen türbülanslı akış koşullarının olduğu tespit edilmiştir.

Jet hızı, jet uzunluğu ve nozul çapının (jet çapı) artması; sırasıyla jetin kinetik enerjisini, jetin yüzey pürüzlülüğünü ve etkin çapını, jet ve içine girdiği sıvı arasındaki temas etme alanını arttırmakta, bu durum da düşeyboruya giren hava debisini artırmaktadır.

Jet hızı ve jet uzunluğu ile düşeyboruya giren hava debisinin artmasına bağlı olarak, hava tutunumunun da arttığı görülmektedir. Ancak sabit jet hızı ve jet uzunluğunda, nozul çapının azalması ve düşeyboru çapının artması (kesit alanı artışıyla toplam alana hücre içindeki su basıncının artması) ile düşeyboru içindeki aşağıya doğru akan sıvının hızı azaldığından ve böylece kabarcıkların kalma süresi arttığından dolayı hava tutunumunun arttığını söylemek mümkündür.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar Jameson hücresinde flotasyon çalışmaları yapacak araştırmacılar için önemli verilerdir.

KAYNAKLAR

Bangerter, P., 1998, Jameson Cell Advances, The AusIMM Bulletin, 8.

Banisi, S., Finch, J. A. and Laplante A. R., Weber M. E., 1995, Effect of solid particles on gas holdup in flotation columns—I. Measurement, Chemical Engineering Science, **50**, 2329-2334.

Cowburn, J., Harbort, G., Manlapig, E. and Pokrajcic, Z., 2005, Improving the Recovery of Coarse Coal Particles in a Jameson Cell, Minerals Engineering, Article in Pres.

Dawson, W.J., Yannoulis, G.F., Atkinson, B.W. and Jameson, G.J., 1996, Applications of the Jameson Cell in the Australian Coal Industry, Column'96, 233-246.

Evans, G.M., 1990, A Study of a Plunging Jet Bubble Column, Ph. D. Thesis, Newcastle University, Australia.

Evans, G.M., Atkinson, B.W. and Jameson, G.J., 1995, The Jameson Cell, Flotation Science and Engineering, Edited by K.A. Matis, 331-363.

Finch, J.A. and Dobby, G.S., Column Flotation. Pergamon Press, Oxford, 1990, 180.

Funatsu, K., Hsu, Y. and Kamogawa, T., 1988, Gas Holdup and Gas Entrainment of a Plunging Water Jet with a Constant Entrainment Guide, Can. J. Chem. Eng., **66**, 19-28.

Harbort, G.J., Murphy, A.S. and Budod, A., 1997, Jameson Cell Developments at Philex Mining Corporation, Sixth Mill Operators' Conference, Madang.

Harbort, G.J., Manlapig E.V. and De Bono, S., 2002, Particle Collection Within the Cell Downcomer, Mineral Processing and Extractive Metallurgy, IMM Transactions section C, **111**, 1-10.

Harbort, G.J., De Bono, S., Carr, D. and Lawson, V., 2003, Jameson Cell Fundamentals, Minerals Engineering, **16**, 1091-1101.

Jakubowski, C. A., Atkinson, B. W., Dennis, P. and Evans, G. M., 2003, Ozone Mass Transfer in a Confined Plunging Liquid Jet Contactor, Ozone: Science and Engineering, **25**, 1-12.

Jameson, G.J. and Manlapig, E.V., 1991, Applications of the Jameson Cell, Column'91, Proceedings of an International Conference on Column Flotation, Sudbury, Ontario, 673-687.

Kantarci, N., Borak, F. ve Ulgen, K.O., 2005, Bubble column reactor, Process Biochemistry, 2263-2283.

Kennedy, A., 1990, The Jameson Flotation Cell, Mining Magazine, 281-285.

Liu, G. and Evans, G.M., 1998, Gas Entrainment and Gas Holdup in a Confined plunging Liquid Jet Reactor, Proceedings of the 26th Australasian Chemical Engineering Conference, (Chemeca 98), Port Douglas, Australia.

Mandal, A., Kundu, G. and Mukherjee, D., 2005, Comparative Study of Two-Phase Gas-Liquid Flow in the Ejector Induced Upflow and Downflow Bubble Column, International Journal of Chemical Reactor Engineering, **3**

Marchese, M.M., Uribe Salas, A. and Finch, J.A., 1992, Measurement of Gas Holdup in a Three-Phase Concurrent Downflow Column, Chemical Engineering Science, **47**, 3475-3482.

Mohanty, M.K., 2001, Technical Note in Plant Optimization of a Full Scale Jameson Cell, Minerals Engineering, **14**, 1531-1536.

Ohkawa, A., Shiokawa, Y. and Sakai, N., 1985, Gas Holdup in Downflow bubble Columns with Gas Entrainment by a Liquid jet, j. Chem. Eng. Japan, **18**, 172-174.

Ohkawa, A., Kusabiraki, D., Kawai, Y. and Sakai, N., 1986, Some Flow Characteristics of a Vertical Liquid Jet System Having Downcomers, Chem. Eng. Sci., **41**, 2347-2361.

Ohkawa, A., Kusabiraki, D., Kawai, Y. and Sakai, N., 1987, Flow Characteristics of an Air-entrainment Type Aerator Having a Long Downcomer, Chem. Eng. Sci., **42**, 2788-2790.

Öteyaka, B., 1994, Effet du taux de rétention du gaz sur la stabilité des agregats buble-particule(s) pendant la flottation, Mines & Carrières, Les Techniques, **76**, 245-248.

Summers A.J. 1995, A study of the operating variables of the Jameson cell, Master thesis, McGill Universty, Canada.

Summers, A., Manqiu, X.U. and Finch, J.A., 1995, Technical Note Effect of Level in Separation Tank on Downcomer Behaviour in a Jameson Cell, Minerals Engineering, **8**, 12, 1607-1613.

Summers, A., Xu, M. and Finch, J.A., 1993, Ring Electrodes for Estimation of Gas Holdup and Identification of Process Disturbances in Jameson Cell Downcomer, Trans. Instn Min. Metall., 135-137.

Taşdemir, T., 2006, Jameson Hücresinde Hold-up'ın Modellenmesi ve Bazı Çalışma Parametrelerinin Flotasyon Verimine Etkisi, Doktora tezi, Osmangazi Üniversitesi.

Yamagiwa, K., Kusabiraki, D. and Ohkawa, A., 1990, Gas Holdup and Gas Entrainment Rate in Downflow Bubble Column with Gas Entrainment by a Liquid Jet Operating at High Liquid Throughput, J. Chem. Eng. Japan, **23**, 343-348.