

## FLOTASYON KOLONLARI-BÖLÜM 2

## KARŞILAŞTIRMALI ÇALIŞMALAR, UYGULAMALARDA

## • KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ALTERNATİF KOLON TASARIMLARI

Flotation Columns-Part 2

Comparative Studies, Application Problems and Alternative Column Designs

Bahadır AKSANI(\*)

Anahtar Sözcük: Flotasyon Kolonları.

## ÖZET

Bu çalışmada cevher zenginleştirme endüstrisinde standart olarak kabul edilen mekanik flotasyon hücreleri ile flotasyon kolonları kuramsal olarak karşılaştırılarak, literatürde mevcut çalışmalar sunulmuştur. Flotasyon kolonlarının tasarımında ve uygulamalarında karşılaşılan sorunlar kısaca özetlenmiş, flotasyon kolonlarına alternatif olarak geliştirilen tasarımlar ve özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

## ABSTRACT

In this study flotation columns and mechanical flotation machines that were used as standard flotation equipment in mineral processing industry were compared with the theoretical ones and studies in the literature were presented. Problems faced in the design and industrial applications of flotation column were briefly summarised and alternative flotation column designs and their features were presented.

\* Dr. Maden Yük.Müh., MTA Genel Müdürlüğü, MAT Dairesi, Ankara

## 1. GİRİŞ

Cevher hazırlama endüstrisinde mekanik flotasyon hücreleri yıllarca standart flotasyon hücresi olarak kalmış, flotasyon kolonları gibi yeni tasarımlar kullanıcıların muhafazakar yaklaşımları nedeniyle endüstriyel uygulama alanı bulmakta zorlanmışlardır. Ancak, yapılan karşılaştırmalı çalışmalar sonucunda elde edilen başarılı sonuçlar ve flotasyon kolonlarının işletme ve yatırım maliyetlerinin düşüklüğü çeşitli uygulama alanları bulmalarına olanak sağlamıştır. Bu gelişmelere paralel olarak flotasyon kolonlarının dezavantaj larına çözüm bulmak amacıyla çeşitli alternatif flotasyon hücreleri de geliştirilmiştir.

Bu çalışmada flotasyon kolonlarının uygulama alanları, diğer flotasyon hücreleri ile yapılan karşılaştırmalı çalışmalar, uygulamalarda karşılaşılan çeşitli sorunlar ve alternatif hücre tasarımları hakkında bilgi verilmiştir.

## 2. FLOTASYON KOLONLARININ UYGULAMA ALANLARI

Flotasyon kolonlarının ilk endüstriyel uygulaması 1980 yılında Mines Gaspé'de Cu/Mo ayırımı için yapılmış (Çizelge 1), ancak tesis bakır fiyatlarındaki düşme nedeniyle 1983-1984 yılları arasında kapanmıştır (Cienski ve Coffin, 1981).

Çizelge 1. Flotasyon Kolonunun İlk Endüstriyel Uygulamasının Sonuçları (Cienski ve Coffin, 1981)

Hücre Tipi	Tarih	Besleme % Mo	Verim % Mo
Mekanik	Eylül 1977	0,88	66,5
	Ekim 1977	1,21	69,6
	Kasım 1977	1,18	61,2
Kolon	Ekim 1980	0,91	73,5

Kolonlar özellikle sülfürlü cevherlerin zenginleştirilmesinde birçok tesiste kullanılmaktadır (Çizelge 2).

Flotasyon kolonları sahil kumundaki demir ve feldspatın uzaklaştırılması, fosfat flotasyonu, altın cevherinden organik karbon içeren kısmın ayırımı (McKay vd., 1992; Foot vd., 1993), laboratuvar ölçeğinde kömürden mikrobiyolojik olarak sülfürün uzaklaştırılmasında (Ohmura ve Saiki, 1994), kaim köpük bölgesine besleme yapılarak köpük ayırıcı (froth separator) olarak (Schultz vd., 1991) başarıyla kullanılmıştır.

Ters flotasyon ile demir konsantresindeki silisin ayrılmasında elde edilen başarılı sonuçlar flotasyon kolonlarının bu konuda endüstriyel uygulama alanı da bulmalarına olanak sağlamıştır (Flint, vd., 1992; Murdock, 1993; Bhaskar Raju, vd., 1993; Wyslouzil vd., 1994).

Flotasyon kolonunun önde gelen üreticilerinden olan Cominco Engineering Services Ltd. (CESL) kolonların çeşitli konularda uygulama alanları bulmasına öncülük etmiştir (<http://www.cesl.com/files/column.html>, 1995). Bunlar arasında çözelti arıtımı/elektrolitik kazanım devrelerinde elektrolitik kazanım öncesinde zengin elektrolit çözeltisinden artık organik reaktifim (lixiviant) uzaklaştırılması sayılabilir. Bu uygulamalarda çözeltinin içerdiği 50-100 ppm'lik organik safsızlığın 20 ppm'in altına düşürüldüğü belirtilmiştir.

Flotasyon kolonları bunların dışında, geri dönüşümlü kağıttan mürekkebin uzaklaştırılmasında da kullanılmaktadır. CESL yakıt sanayiinde atık sudaki asıltı ve artık yağın uzaklaştırılması için yeni bir flotasyon kolonu tasarımı (VOSCell) da geliştirmiştir (Murdock, 1993; <http://www.cesl.com/files/vossother.html>, 1995).

Çizelge 2. Sülfürlü Cevherlerde Flotasyon Kolonu Uygulamaları

ŞİRKET-ÜLKE	UYGULAMA	KOLON BOYUTLARI* GxÜxY-ÇxY (m)	KESİT BÖLJÜCÜ SAYISI	KABARCIK ÜRETECİ TİPİ	KAYNAK
Mines Gaspé Kanada	Mo temizleme	0,45x13,6, 0,91x13,6, 1,8x13,6	-	Delildi plastik	Ciensi ve Coffin (1981)
Faro Kanada	temizleme	2 adet 3,72x13,3	7	7	Brewis (1991)
Gibraltar Kanada	Cu temizleme	2,1x12	6	filtre bezi kaplama	Finch ve Dobby, (1990)
Copper Cliff Kanada	Cu son temizleme	1,8x11 1,1x11	4	kauçuk	Finch ve Dobby (1990)
Polaris Kanada	Pb temizleme	0,61x9,8 0,76x9,1	-	kauçuk	Kosick, Kuehn ve Freberg (1988)
Pine Point Kanada	Zn temizleme	10x0,4	-		Meekel, Egan ve Fairweather(1988)
Red Dog Kanada	Zn temizleme Pb/Zn ayırımı	4,5x0,05 4,5x0,05	-	-	Egan, Fairweather ve Meekel (1988)
Sullivan Kanada	1. Zn temizleme	2,4x13	6	USBM	Redfean ve Egan (1988)
Yukon Kanada	Zn temizleme	2 adet 3,6x13	-	Cominco	Brewis (1991)
Strathcona Kanada	Cu/Ni ayırımı	0,9x13	-	filtre bezi kaplama /USBM	"
Cyprus Minerals ABD	Mo ara, Cu/Mo son temizleme	3 adet 0,9x15 2x15,1	?	filtre bezi kaplama	Clingan ve McGregor (1987)
Chino ABD	Mo ara-son temizleme, süpürme	0,4x11,4,0,6x11,6, 0,9x11,5	7	filtre bezi kaplama	Clingan ve McGregor (1987)
Pinto Valley ABD	Mo ara temizleme, süpürme	0,6x7,6 0,6x7,6	?	filtre bezi kaplama	Clingan ve McGregor (1987)
San Manuel ABD	Cu/Mo son temizleme, ara ve son temizleme	1,8x12,1, 1,5x12,1, 1,2x1,2x9,7,0,8x3,6	?	filtre bezi kaplama	Clingan ve McGregor (1987)
Oracle Ridge ABD	Kalkopirit kaba+süpürme	2 adet 1,5x11	-	Cominco	Carter (1991)
Wallace ABD	temizleme, kaba/temizleme	1,24x10,23 1,86x10,23			Brewis (1991)
Ozark-Mahoning ABD	Zn kaba + temizleme	2,3x12,2 1,1x9,75	?	USBM	Keyser, Ashford ve McKay (1993)
Bogosu Ghana	kaba, temizleme	2,75x13 1,2x14,6	?	7	Brewis (1991)
Radio Hill Avustralya	kaba	1,8x10,5	7	7	Brewis (1991)
Three Mile Hill Avustralya	kaba	3x17,3	7	7	Brewis (1991)
Fimiston Avustralya	kaba	2 adet 3,95x17,9	7	7	Brewis (1991)
Red Dome Avustralya	kaba, süpürme, temizleme	4 adet 2,95x12 2 adet 1,4x12	7	7	Brewis (1991)
Perth Avustralya	kaba, temizleme	3 adet 2,5x16,7			Brewis (1991)
Harbour Lights Avustralya	Pirit kaba flotasyonu süpürme flotasyonu	2,5x12 1,2x12	6 2	filtre bezi kaplama	Schubert (1988), Dobby (1990)
Svedles Mine Avustralya	Zn kaba+temizleme	3 adet 2,44x16	-	-	.....1991b
Mount Isa Mines Avustralya	1. Pb/Zn temizleme	3 adet 2,5x13		kauçuk	Espinoza-Gomez, Johnson ve Finch (1989)
Hilton Avustralya	Pb ve Zn temizleme	4 adet 2x11	-	-	.....1991c
Perth Avustralya °	Zn kaba+temizleme	3 adet 2,5x16,5	7	Cominco	Brewis (1991)
Paddington Avustralya	Toplu sülfür kaba flotasyonu	3,25x12 1,5x14	7	7	Alford, 1990
Woodcutters Mines Avustralya	Pb temizleme, Zn kaba+temizleme	2 adet 3,1x? 1 adet 2,7x?	?	Cominco	CESL
Cobar Avustralya	Bakır temizleme	2,1x?	7	Cominco	CESL
Windarra Nickel Mine Avustralya	Altın içeren toplu sülfür kaba+temizleme f.	2,5x12-1,5x10,5	?	7	Alford, 1990
Macraes Flat Yeni Zellvea	kaba, temizleme	2 adet 2,9x14,2 2 adet 2x14,2	7	7	Brewis (1991)
Mineração Manati Cuiabata Brezilya	Cu kaba, temizleme	0,75x1,5x10 kaba 0,45x0,9x10 tem,	-	Delikli boru	Reis ve Peres, 1991
Cujone Peru	Cu/Mo son temizleme	1,2x12,1	7	filtre bezi kaplama	Clingan ve McGregor (1987)
Cveelaria Şili	Cu+Au+Ag kons. Temizleme	4 adet 3,6 x14	?	7	Ryan ve Madson (1996)
R. Metropolitana-Colina Şili	Cu/Mo toplu konsantre temizleme	2 adet 2x8x14,5	16	Turbo air+Minnovex	Schena ve Casali (1994)
»	kaba temizleme: 3. temizleme	3,71x1,76x13,85		filtre bezi kaplama+ Turbo air	Schena ve Casali (1994)

Çizelge 2- Sülfürlü Cevherlerde Flotasyon Kolonu Uygulamaları (Devam Ediyor)

ŞİRKET-ÜLKE	UYGULAMA	KOLON BOYUTLARI* GxUxY-ÇxY (m)	KESİT BÖLÜCÜ SAYISI	KABARCIK ÜRETECİ TİPİ	KAYNAK
V. Region Los Andes Şili	Cu/Mo ayırımında temizleme	2 adet 2x6,5x13,8	12	Turbo air	Schena ve Casali (1994)
II Region Antifagasta Şili	Cu/Mo ayırımında temizleme	2 adet 1,83x1,83x13,6		?	Schena ve Casali (1994)
Ojos del Salado Şili	Kalkopirit temizleme	1 adet 2,4x12,2	7	?	Rocher ve Hanks (1994)
Antofagasta Şili	Cu/Mo toplu konsantre temizleme	8 adet 14,3x4x4		Cominco ve Minnovex	Schena ve Casali (1994)
Minera Bismark Meksika	Pb/Cu toplu konsantre ve Zn temizleme	0,91x12 2,13x13	?	Deister, Cominco	Haptonstall (1995)
Molyco prp Meksika	Mo temizleme	2,4x?		Deister	DEİSTER
Ertsberg Endonezya	Porfiri Cu	3 adet 3x? 3 adet 3x?	>	Minnovex	Russeland ve Kieffer (1994)
Grasberg Endonezya	Porfiri Cu	4 adet 3,7x15,2 4 adet 3,7x15,2	)	?	Coleman ve Veloo (1996)
Bougainville Yeni Gine	Kaba+süpürme konsantresi temizleme	1,8x12 1,2x12		Turbo air	Alford, 1990
OKTedi Tabubil Yeni Gine	Bakır temizleme	2 adet 3,6x15		Cominco	CESL
Lonrho Zimbabwe	Altın kaba flotasyonu	1,2x?		Multotec	MULTOTEC
Pering Mine Güney Afrika (G.A.)	Pb temizleme Çinko kaba+temizleme	2adet2,1'x? 2,7x?	'	Cominco	CESL
Foskor Ltd. Güney Afrika	Bakır kaba+temizleme	0,6x? 1x?	'	Multotec	MULTOTEC
Palabora Güney Afrika	Bakır kaba+temizleme	0,6x?-1x?-2,8x?	>	Multotec	MULTOTEC
O'Okiep Copper Güney Afrika	Bakır Flash flotasyonu Bakır temizleme	1,5x7 3,2x?	>	Multotec	MULTOTEC
O'Okiep Copper (Nigraomep) G.A.	Bakır Flash flotasyonu Bakır temizleme	1,5x7 3,2x?	>	Multotec	MULTOTEC
O'Okiep Copper (Caroulasburg) G. A.	Bakır temizleme	2,7x?	• >	Multotec	MULTOTEC
Black Mountain Güney Afrika	Çinko temizleme	2x?	'	Multotec	MULTOTEC
Aprisa İspanya	Sülfür temizleme	2,4x?	?	Deister	DEİSTER
Boliden İsveç	Çinko temizleme	1,7x?	>	Deister	DEİSTER
Boliden Aitik İsveç	Bakır temizleme	3x? 3x?	' ?	Deister	DEİSTER
Boliden-Laisvall İsveç	Zn temizleme Pb temizleme	1,7x? 3x?	?	Deister	DEİSTER

\* Y - Yükseklik, G - Genişlik, U - Uzunluk, Ç - Çap

### 3.FLOTASYON KOLONLARI İLE MEKANİK FLOTASYON HÜCRELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Flotasyon kolonları gibi yeni hücre tasanmlanmn uygulama alanı bulabilmeleri için cevher hazırlama endüstrisinde birincil olarak kullanılan mekanik hücrelere karşı kendilerini kanıtlamaları gerekmektedir.

Sahip oldukları özellikler nedeniyle tesis mühendisleri için bir çözüm olabilen flotasyon kolonları, ekipman üreticileri için bazı dezavantajlara sahiptir. Diğer bir ifade ile, mekanik flotasyon hücrelerinden meydana gelen ve konsantre oluklarını, pompalan ve

boru hatlarını içeren flotasyon devresini tek bir flotasyon kolonu ile değiştirerek basitleştirmek mümkün olabilmekte, hatta temel tasarımının basitliği nedeni ile tesis olanakları kullanılarak imal edilebilmekte, pek çok durumda verimde kayıp olmaksızın yüksek tenörlü konsantre elde edilebilmektedir. Örneğin Rocher ve Hanks (1993), flotasyon kolonlarının performanslarından ziyade, yatırım ve işletme maliyetinin düşük olması nedeni ile Ojos del Salado'da (Şili) kullanıldığını belirtmişlerdir. Bu nedenle zenginleştirme tesislerinde, flotasyon kolonu satın almak yerine imalatını tesis olanakları ile yapıp, kolonun etkin çalışması için mutlak gerekli olan kabarcık üretici ve palp seviyesi kontrolünde kullanılan

Çizelge 3 . Flotasyon Kolonları ile Mekanik Flotasyon Hücrelerinin Karşılaştırılması

	<i>Flotasyon Kolonları</i>	<i>Mekanik Flotasyon Hücreleri</i>
Tane/kabarcık bağlanma mekanizması	Çarpışma	Çarpışma ve hava çökmesi
Palp/hava akışları	Zıt akımlı	İmpeller/statorun tasarımına ve besleme sistemine göre değişir
Akış koşulları	Türbülans bağıl olarak yok, tapalı akışa yakın	Türbülans var ( $Re=10^5$ ), mükemmel karıştırma
Köpük tabakası	Kaim ve yıkama suyu ile yıkanır	Kalın değildir ve genellikle yıkama suyu kullanılmaz
Hava veriş şekli	Kabarcık üretici ile	Karıştırıcının dönüşü ile atmosferden ya da dışarıdan fan ile
Hava hızı	0,8-3 cm/sn	0,3-1 cm/sn
Hacimsel hava miktarı	% 15-30	%15
Kabarcık çapı	Daha küçük ve daha kolay kontrol edilebilir	Kontrolü zordur
Bias	Genellikle pozitif biasla çalışırlar	Negatif biasla çalışırlar
Kalma süresi	Tane/kabarcık agregalarının kopması genellikle köpük/palp arayüzeyinde meydana gelir ve taneler kolona yeni beslenmiş taneler ile aynı kalma süresine sahip olurlar	Tane/kabarcık agregalarının kopması ile taneler takip eden hücreler kadar kalma süresine sahip olurlar
Köpük yüzey alanı / hücre hacmi oranı	Düşük	Yüksek

sistemlerin satın alınması tercih edilmektedir.

Bu bölümde her iki hücre tipi gerek kuramsal ve gerekse deneysel açıdan karşılaştırması yapılmıştır.

### 3.1. Kuramsal Karşılaştırmalar

Flotasyon kolonları ile mekanik flotasyon hücreleri arasındaki farklılıklara Çizelge 3'de kısaca değinilmiştir.

Mekanik flotasyon hücrelerinde karıştırma kanştımcı sistemi ile sağlanır. Kanştıncının üç temel fonksiyonu vardır (Harris, 1976); bunlar taneleri askıda tutmak, palpm hücre içerisindeki çevrimini ve havalandırmayı sağlamaktır. Kanştımcı hücre içerisinde türbülanslı akış koşullarını yaratacak şekilde çalışır ve sistemin Reynolds sayısı  $10^5$ 'den büyüktür (Arbiter ve Weiss, 1970).

Kanştıncının çevresini kuşatan kanştımcı kanatlan kabarcıkların hücrenin her tarafına yayılarak havanın düzenli bir şekilde

dağılmasını ve aynı zamanda havalandırma kapasitesinin artmasını sağlar, ancak hava kabarcıklarının parçalanarak daha küçük kabarcıklara bölünmesine yardımcı olmaz (Grainger-Ailen, 1970). Palpm yatay dönme hareketine engel olan stator, kabarcıkların hücreye dağılmasını sağlayarak, hücre içerisinde sakin bölgeler yaratma işlevini de görür.

Bu özellikleri ile mekanik flotasyon hücreleri bir yandan taneleri askıda tutmak ve tane/kabarcık çarpışmasını sağlamak için kanştırma yaparken, diğer yandan tane yüklenmiş kabarcıkların palptan ayrılabilmesi ve tane/kabarcık agregalarının bozulmaması için sakin bölgeler yaratmak gibi birbirine zıt iki işlevi yerine getirmektedir. Bu nedenle mekanik flotasyon hücrelerinin tane/kabarcık çarpışma ve bağlanması için ideal tasarım olup olmadığı tartışma konusudur (Young, 1982). Yapılan çalışmalar beslemenin ince ve iri tane boylarına sınıflandırılarak farklı hidrodinamik koşullarda çalışan mekanik hücre devrelerinde işlenmesinin doğru olacağı belirtilmiş (Trahar, 1981; Ahmed ve Jameson, 1985) ve varolan

mekanik hücrelerde farklı tane boyuna sahip beslemelerin işlenebilmesi için hidrodinamik koşulların ekipman parametreleri ile ayarlanabileceği gösterilmiştir (Kallioinen ve Heiskanen, 1993).

Mekanik flotasyon hücrelerinde hava kabarcıklarının oluşumu iki aşamada meydana gelir; ilk aşamada dönen karıştırıcı kanatlarının arka ve uç bölümlerindeki düşük basınçlı bölgede hava boşlukları oluşur. İkinci aşamada türbülans nedeniyle boşluğun kuyruğunda meydana gelen girdaplar, hava kabarcıklarını oluşturur. Karıştırıcının kanatlarından yatay olarak ayrılan kabarcıklar, statorun kanatlarının da yardımı ile hücreye dağılırlar. Mekanik flotasyon hücresi tasarımındaki kabarcık çapları oldukça benzerdir (yaklaşık 0,1-1 mm). Yapılan çalışmalar kabarcık çaplarını belirlemede karıştırıcı tasarımı ile karıştırıcı ve hava hızının önemli olmadığını, kabarcık çapının köpürtücü dozajına bağlı olarak değiştiğini göstermiştir (Harris, 1976).

Flotasyon kolonlarında ise kabarcıklar kabarcık üretici bir sistemle kolona verilmekte ve daha küçük kabarcıklar elde edilebilmektedir. Ancak flotasyon kolonları ile mekanik flotasyon hücrelerindeki hidrodinamik koşullara bağlı olarak tane/kabarcık çarpışma ve bağlanma mekanizmalarının farklı olması, özellikle kolonlarda kabarcık çapının önemini artırmaktadır. Bilindiği gibi flotasyon işleminde küçük kabarcıklar tanelerin flotasyon hız sabitine yükselmesine neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar küçük kabarcıkların türbülanslı olmadığı sakin koşullarda tanelerin flotasyon hız sabitine etkisinin en fazla olduğunu, türbülanslı artması ile bu etkinin azaldığını ortaya koymuştur (Yoon, 1993). Bu nedenle flotasyon kolonlarının küçük kabarcıkların etkin olarak kullanılabilmesi için ideal flotasyon hücresi tasarımı olduğu söylenebilir. Mekanik flotasyon hücrelerinde ise tane/küçük kabarcık agregasyonu, tane/büyük kabarcık

agregasyonu göre türbülansa bağlı olarak eddy akımlardan daha fazla etkilenmeleri nedeniyle küçük kabarcıkların tane yüzeyinden ayrılma olasılığının yüksek olduğu belirtilmiştir (Ahmed ve Jameson, 1985).

Flotasyon kolonu bir dizi mekanik flotasyon hücresine benzetilebilir. Uygulamalarda genellikle tek flotasyon kolonu bir dizi mekanik hücrenin yerini alabilmekte, hacimsel olarak mekanik hücrelerin flotasyon kolonları ile yer değiştirme oranı 1/0,4 ile 1/1,54 arasında değişmektedir (Clingan ve McGregor, 1987). Bu durumun yarattığı önemli farklılıklardan birisi mekanik hücre serisinden her adımda köpük ürünü düzenli olarak alınabilirken, flotasyon kolonunda konsantre yalnızca bir noktadan alınabilmekte, diğer bir ifade ile flotasyon kolonunda hücre hacmine göre konsantrenin alındığı yüzey çok küçük kalmaktadır. Bu, beslemenin büyük bölümünün konsantreye geldiği koşullarda (örn., kömür flotasyonu) kapasiteyi belirleyen önemli bir sorun olabilmektedir. Diğer farklılık ise flotasyon kolonunda köpükten geri düşen taneler kolona yeni beslenenler ile aynı kalma süresine sahipken, mekanik hücrelerde tanelerin kalma süresi hücredeki konumlarına göre değişecektir.

Flotasyon kolonlarında köpüğün kalınlığı, mekanik flotasyon hücrelerindeki kadar fazladır. Endüstriyel uygulamalarda flotasyon kolonlarının köpük kalınlığı 1,5 m kadar olabilirken, mekanik flotasyon hücrelerinde zenginleştirme aşaması ve koşullarına bağlı olarak (kaba, temizleme, ya da süpürme devreleri) 3-40 cm arasında değişmektedir (Laplante vd., 1989). Mekanik flotasyon hücrelerinde konsantre kirlenmesinin en önemli nedenlerinden olduğu bilinen su ile taşınma (entrainment) (Trahar, 1981) engel olarak seçimliliği artırmak için; 1-Kalın köpük, 2-Köpüğün su ile yıkanması, 3-Palp/köpük arayüzünde türbülanslı azaltılması, 4-Şlam atılması, 5-Beslemenin

seyreltilmesi, çözüm olarak önerilmiştir (Young, 1982). Flotasyon kolonlarının kalın ve su ile yıkanan köpük tabakasına sahip olmaları ve palp/köpük arayüzeyinde türbülansın mekanik hücrelerden daha az olması nedeniyle tanelerin su ile taşımına önemli ölçüde engel olunabilmekte ve bu nedenle de daha yüksek tenörlü konsantre elde edilebilmektedir (Yianatos vd., 1987; Maachar ve Dobby, 1992; Choungvd., 1993).

Mekanik flotasyon hücrelerinde de köpük su ile yıkanabilmekte, ancak flotasyon kolonları kadar başarılı sonuçlar elde edilememektedir (Laplante vd., 1989). Bunun nedenlerinden biri, mekanik flotasyon hücreleri negatif biasla çalışırken flotasyon kolonlarının pozitif biasla çalışmasıdır. Diğer bir ifade ile kolonlarda artık ve besleme akışları arasındaki su akış farkına denk olan, köpükten aşağı doğru süzülen yıkama suyu bulunmaktadır. Diğer neden ise, kolonlarda köpük yüzey alanının hücre hacmine göre küçük olması köpük yıkama etkinliğinin daha iyi olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle mekanik hücrelerde yüksek tenörlü konsantre elde etmek amacıyla köpük yüzey alanının daraltılmasını sağlayan daraltıcı koniler (Outokumpu HG, OKI00) kullanılmaktadır (Skillen, 1993; Kallioinen, vd., 1995; Burgess, 1997).

Mekanik flotasyon hücrelerinde köpük yüzey alanının hücre hacmine göre fazla olması nedeniyle kullanılan yıkama suyu miktarı devrenin su denkleğinin bozulmasına neden olabilmektedir.

### 3.2. Deneysel Karşılaştırmalar

Flotasyon kolonları ile diğer flotasyon hücrelerinin karşılaştırılması için yapılan çalışmalar Çizelge 4'de verilmiştir.

Bu çalışmaların yanısıra farklı flotasyon hücreleri ile flotasyon kolonlarının karşılaştırılmasını amaçlayan çalışmalar da

yapılmıştır. Farr (1992) Cu zenginleştirme ve Cu/Ni ayırımı için yaptığı ve Outokumpu HG hücresi, Denver mekanik hücresi, Jameson hücresi ile flotasyon kolonu kullandığı karşılaştırmalı çalışmasında aynı verim eşliğinde flotasyon kolonundan elde edilen konsantrenin Cu tenorunun daha yüksek, Cu/Ni ve Cu/gang ayırım etkinliğinin ise flotasyon kolonunda daha iyi olduğunu göstermiştir (Çizelge 5).

Harris vd., (1992) tarafından yapılan bir çalışmada, mekanik flotasyon hücresi, flotasyon kolonu ve mekanik flotasyon hücresinin üzerine yerleştirilmiş ve flotasyon kolonunun köpük bölgesine karşılık gelen bir melez flotasyon hücresi, ince kömür flotasyonu için kullanılmıştır. Çalışmalarında flotasyon kolonlarının özellikle ince tane boyunda seçimliliğinin daha iyi olduğu, ancak iri tane boylarında melez flotasyon hücresinin mekanik hücre ve flotasyon kolonuna göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Benzer bir çalışmada (Harris vd., 1994) mekanik flotasyon hücresi, flotasyon kolonu, Jameson hücresi ve hava püskürtmeli siklonun (Air sparged hydrocyclone-ASH) ince kömür kullanılarak performansları karşılaştırılmış, flotasyon kolonlarının özellikle ince tane boyunda diğer hücrelere göre daha iyi performans değerleri vermesine rağmen kapasitesinin düşük olmasının dezavantaj olduğu belirtilmiştir (Çizelge 6).

Diğer bir çalışma Honaker vd., 1994 tarafından yapılmış ve Microcel, Jameson hücresi ile içerisine bölücü plakaların yerleştirildiği (Packed Column) kolonlar karşılaştırılmıştır (Çizelge 7). Çalışmada Microcel flotasyon kolonundan daha iyi performans elde edildiği görülmektedir. Bunun yanısıra, Jameson hücresi ile Microcel flotasyon kolonunun kapasiteleri çok yakın ancak içerisine bölücü plakaların yerleştirildiği kolonun % 25 daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Yine kömür ile yapılan diğer bir çalışmada ise mekanik flotasyon hücresi, flotasyon kolonu (Microcel) ve Jameson hücresi karşılaştırılmış, aynı verim eşliğinde (% 75) elde edilen performans değerleri Çizelge 8'de verilmiştir (Bunt, vd., 1995). Elde edilen bulgular Microcel flotasyon kolonunun performansının diğer hücre tipleri ile karşılaştırıldığında iyi olmadığı görülmektedir. Ancak bu çalışmada kolon literatürde ender görülen yüksek bir hava hızı aralığında ( $j_g = 2,2 - 4,4$  cm/sn) çalıştırılmıştır.

#### 4. FLOTASYON KOLONLARININ UYGULAMALARINDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR

Flotasyon kolonlarının endüstriyel uygulamalarında karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi kabarcık üreticinin ölçek büyütme işleminin yanlış yapılmasıdır (Yoon, 1994). Yanlış ölçeklendirilmiş kabarcık üretici ile çalışılan kolonlarda ( $R_s = A_c/A_s$  oranı doğru olarak belirlenmemiş) istenen küçüklükte kabarcıklar elde edilememekte ve kolonda yeterli miktarda hava olmaması nedeniyle istenen performans değerleri elde edilememektedir.

Flotasyon kolonunun endüstriyel uygulamalarında dikkate alınması gereken çeşitli noktalar sözkonusudur (Huls ve Williams, 1993);

1. Serbestleşme ve seçimlilik; Serbestleşmenin su ile taşınmadan daha önemli bir sorun olduğu koşullarda, flotasyon kolonları yüksek tenörlü konsantr elde edilebilmesine olanak sağlamayabilir. Bu koşullarda serbestleşmemiş taneler ya artığa giderek verimin düşmesine ya da aşın toplanma nedeni ile konsantreye gelerek tenorun düşmesine neden olurlar. Bu nedenle flotasyon kolonları serbestleşmemiş

tanelerin davranımına bağlı olarak süpürme-temizleme adımları için uygun olmayabilirler. Flotasyon kolonları serbestleşmemiş tanelerdeki gang ya da beslemedeki serbest gangın susever olduğu durumlarda bu tip tanelerin yüzmemesi nedeniyle avantaj sağlayabileceklerdir. Ancak gang, örneğin sülfürlü cevherlerde olduğu gibi susevmez olma eğilimi gösterecek bir minerale (örn.; pirit, sfalerit vb.) ciddi seçimlilik sorunları ile karşılaşılabilir.

2. Palp kimyası; Kolonun tek bir birimden meydana gelmesi ve bu nedenle de hacminin çok fazla oluşu, kolonda palp kimyası ile ilgili değişikliklere müdahale edilmesini güçleştirmektedir. Bu nedenle kolon beslemesinin koşullandırılma aşaması önem taşımaktadır.
3. Palp ağırlığı; Flotasyon kolonunda köpüğün etkin yıkanabilmesi için palpm katı içeriğinin yüksek olmaması gerekebilir. Katı içeriğinin fazla olduğu palplarda ince gang tanelerinin köpükte kalma sürelerinin artması köpüğün iyi yıkanamamasına ve taneleri taşıyamamasına neden olabilmektedir. Ayrıca Moon ve Sirbis (1987), besleme palp yoğunluğu belirli bir değeri aştığında küçük kabarcıkların yükselemeyerek artığa kaçabileceğini belirtmiştir.
4. Devre konfigürasyonu; Kolonun flotasyon devrelerinin doğru noktalarda kullanılması son derece önemlidir. Örneğin hematitin nihai temizleme aşamasında kolon başansız olurken, besleme hematit içeriğinin düşük olduğu koşullarda (kaba flotasyon) ters flotasyon ile başarılı sonuçlar elde edilmiş ve düşük hematit kaybı ile silisin önemli bölümü nihai olarak atılabilmektedir.



Çizelge 4. Flotasyon Kolonları ile Mekanik Flotasyon Hücrelerinin Performanslarının Karşılaştırılması İçin Yapılmış Deneysel Çalışmalar

Cevher	Mekanik Hücre			Flotasyon Kolonu			Kaynak
	Verim (%)	Tenor (%)	Aşama Sayısı	Verim (%)	Tenor (%)	Aşama Sayısı	
Molibdenit	86,6	5,1	5	86,4	17,1	2	Mathieu, 1972
Grafit	60	91	5	85	96	1	Narasimhan vd., 1972
Talk	45-65	78-82 (beyazlık)	3	83	84	1	Kho & Sohn, 1989
Fluorit	90,4	67,4		86,8	90,9		Foot vd., 1986
Kromit	86	35,5		95	41,5		McKay vd., 1986
Mangan	86	42	3	88	43,6	1	McKay vd., 1988
Kömür	86,6/86,5	13,3/18,3 (kül)	-	90,7/86,3	12,5/11,2 (kül)		Reddy, vd., 1988
Kömür	72,0	12,8 (kül)	2	63,8	6,6 (kül)	1	Halvorsen, 1979
Kükürt	80,7	74	4	80,3	76,4	1	Abdel-Khalek & Stachurski, 1993
Nikel Cevheri	80	1,7		80	3,5		Visser, vd., 1994
Barit	61,1	95,7	3	62,9	95,9	1	Ghiani, vd., 1995
Demir cevheri peletleri	91,7 (Fe)	0,9 SiO2	-	96,7 (Fe)	0,8 SiO2	-	Wyslouzil, vd., 1994
Talk	66	94,5 (talk)	5	73	94,4 (talk)	2	Hail, 1990
Fosfat - 1,2-0,42 mm 0,42-0,1 mm	54 69	63 52	-	99 97	92 55	-	Soto, 1988 (negatif bias)
Potas	32,8	59,4	-	65,3	60,2	-	"
Kompleks sülfür cevheri	92 (Cu) 94,5 (Zn)	28,3 (Cu) 56 (Zn)	4 4	93,9 (Cu) 98,2 (Zn)	31,1 (Cu) 58,3 (Zn)	2 2	Morizot, vd., 1991a veb
Sfalerit (tekrar temizleme)	85	44	3	85	50	2	Espinoza-Gomez, et.al., 1989
Cu (tekrar temizleme)	97	15,3	-	97	22	-	"
Kalkopirit+Pirit (kaba)	93,88	7,14	1	91,96	12,29	1	Aksarı, 1996
Kalkopirit (kaba)	97,96	5,19	1	91,82	18,1	1	Aksarı, 1996
Cu/Zn (kaba)	76,18	10,1 (Cu)	1	76,25	10,36 (Cu)	1	Aksarı, 1997

Çizelge 5. Farklı Hücre Tiplerinin Karşılaştırılması (Farr, 1992)

Cu temizleme						Ayrım Etkinliği	
Hücre tipi	Adım	% Cu	Verim (% Cu)	Verim (%Ni)	Verim (%G)	Cu /Ni	Cu /G
Denver	3	13	75	6	14	69	61
Kolon	1	16	75	4	9	71	66
	2	21,5	75	1,5	4	73	71
Jameson	1	11,5	75	6	18	69	57
HG	2	14	75	4	14	71	61
Cu/Ni ayırımı							
Denver	1	2,5	93	26	50	67	43
	4	9	80	2,5	12	77	68
Kolon	2	13	84	2,5	8	81	76
	3	20	84	1	5	83	79
Jameson	2	3	93	15	50	77	43ft-64
	2	7	80	3	16	77	64
HG	2	10	80	2	12	78	68

Çizelge 6. Farklı Hücre Tiplerinin Karşılaştırılması (Harris vd., 1994)

	Mekanik hücre		Kolon		Jameson hücresi		ASH	
	Verim (%)	Kül (%)	Verim (%)	Kül (%)	Verim (%)	Kül (%)	Verim (%)	Kül (%)
%Verim	36,1		38,4		38,7		39,5	
%Kül	11,6		9,9		9,8		7,2	
Tane Boyu (mm)	Verim (%)	Kül (%)	Verim (%)	Kül (%)	Verim (%)	Kül (%)	Verim (%)	Kül (%)
+150	22,8	6	11,6	3,3	24,5	4,4	31,1	3,9
-150+25	42,3	10,1	63,4	6,9	43,4	6,9	53,7	6,4
-25	51	17,7	76,2	16,6	48,1	15,2	30,6	15,6
Kapasite T/saat/m <sup>2</sup>	-		0,9		2,1		137	

Çizelge 7. Farklı Hücre Tiplerinin Karşılaştırılması (Honaker, vd., 1994)

Hücre tipi	Kül uzaklaştırma (%)	Toplam S uzaklaştırma (%)	Verim (%)	Ayrım etkinliği (%)
Microcel f.k.	89,1	35,7	91,3	80,4
P.P. kolon	85,9	33,2	90,9	76,7
Jameson H.	86,6	32,4	91,0	77,6

Çizelge 8. Farklı Hücre Tiplerinin Karşılaştırılması (Bunt, vd., 1995)

Hücre Tipi	Ağırlıkça verim (%)	Kül (%)	Ayırım etkinliği (%)	Kül uzaklaştırma (%)
Mekanik	65,31	13,35	47,77	67,96
Microcel f.k.	65,78	14,80	38,66	64,23
Jameson H.	64,13	13,51	46,00	68,17

Bunların yanısıra Özellikle devreden yüklerin çok iyi kontrol edilmesine ve kolona verilen yıkama suyu nedeniyle tüm devredeki su miktarına dikkat edilmelidir.

Flotasyon kolonlarında akışm tapalı akış koşullarında olması için kolon çapını daraltmak amacıyla kolon içine yerleştirilen plakalar (baffle) kolonun tüm kesitlerinde kabarcık ve besleme dağılımının homojen olmasını engelleyebilmektedir. Bu, kabarcık üreteçlerinin besleme sisteminin kolon içerisinde doğru olarak yerleştirilememesinin bir sonucudur. Ayrıca bölücü plakaların kolonun düşey eksenine paralel olmamasının, kolon performansına olumsuz etki edebileceği de belirtilmiştir (Finch ve Dobby, 1990).

Yianatos (1990), yıkama suyu maliyeti, artık seyrelmesi, kabarcık üreteci bakımı ve yüksek yapı kullanımı zorunluluğunu flotasyon kolonlarının dezavantajları olarak belirtmiştir.

Flotasyon kolonları denildiğinde akla ilk gelen soru, herhangi bir nedenle beslemenin kesilmesi durumunda alınabilecek önlemlerdir. Bu önlemler devre tasarımı ve cevher tipine bağlı olarak değişmektedir. Genellikle beslemenin kısa süreli kesildiği durumlarda (örneğin, 30 dakika veya daha az) iki yöntem uygulanır (Dobby, 1990);

a. Beslemeye göre ağırlıkça konsantre kazanmanın yüksek olduğu koşullarda artık akışı kolonun normal çalışmasına engel olmamasına dikkat edilmelidir. Bunu sağlamak için yıkama suyunun ayarlanması

yeterlidir ve ek herhangi bir önlem alınması gerekmez,

b. Beslemeye göre ağırlıkça konsantre kazanımın düşük olduğu koşullarda ise yıkama suyu besleme akışını karşılayacak kadar artırılmalıdır. Eğer yıkama suyu sistemi bu işi yapmak için yetersiz ise ek su hattı kullanılmalıdır. Tıkanma ve tanelerin çökerek birikmemesi için artık akışı en az olacak şekilde ayarlanmalıdır.

Uzun süreli besleme kesintilerinde ise şu yöntemler uygulanabilir (Dobby, 1990);

a. Kabarcık üreteci USBM Turbo Air veya Cominco vb. tipinde (external spargers) ise çeşitli endüstriyel uygulamalarda kolonda akışlar tamamen kapatılır ve taneleri yüzdürmek için kolona aşın hava verilir. Kolon tekrar çalıştırılmadan önce kabarcık üreteçleri sökülerek temizlenmelidir. Bu yöntem beslemenin büyük bölümünün yüzdüğü koşullarda uygulanabilmektedir. Yüzen kısmın az olduğu koşullarda ise yüzmeyen kısmı kolondan uzaklaştırmak güç olacağından ek önlem almadan tanelerin çökmesine izin verilmemelidir.

b. Kauçuk veya filtre bezinin? ile yapılan kabarcık üreteçlerinin (internal spargers) kullanıldığı flotasyon kolonlarında besleme kesintilerinde ise; 1- Kolon artığının tamamının ya da bir kısmının kolona tekrar beslenebileceği bir hat kurulmalıdır. Bazı koşullarda bu işlem otomatik kontrol kullanılarak yapılmalıdır, 2- Çok uzun süreli besleme kesintilerinde (örneğin, 8 saatten fazla) kolon boşaltılmalıdır.

Kolondaki tanelerin çökmesine izin verildiği durumlarda kolon tabanına monte edilen su jetleri, çökelmiş tane yatağını akışkanlaştırarak kolonun tekrar çalıştırılabilmesine yardımcı olurlar.

## 5. FLOTASYON KOLONUNDAN YOLA ÇIKILARAK GELİŞTİRİLEN YENİ TASARIMLAR

Konvansiyonel flotasyon kolonlarının endüstriyel uygulama alanı bulmalan alternatif flotasyon kolonu tasarımlarının da geliştirilmesine yol açmıştır. Alternatif tasarımların geliştirilmesindeki temel çıkış noktaları kolon ekseninde meydana gelen karışmayı (axial mixing) engellemek, daha küçük kabarcıkların elde edildiği alternatif kabarcık üretici sistemleri geliştirmek ve kolon yüksekliğini azaltmaktır (Schubert, 1988). Bu tasarımlara aşağıda kısaca değinilmiştir:

1. Leeds Kolonu (Dell, 1978); Gerçek anlamda bir kolon değildir. Hücre mekanik flotasyon hücresi ve kanştıncmm üst bölümüne yerleştirilmiş farklı yoğunluklardaki çubuk bariyerlerden meydana gelmiştir. Çubuk bariyerler, kabarcıkların yükselme hızlarını azaltarak su ile yakalanmış gang minerallerinin mekanik olarak geri yıkanmasına olanak sağlamaktadır.
2. İçerisine bölücü plakaların yerleştirildiği kolon (Packed Column) (Yang, 1988); Kolondaki aksel kanştırmayı azaltmak için kolon eksenine paralel birçok plaka yerleştirilmiştir. Plakaların hava kabarcıklarının küçük ve benzer çaplarda olmalarını sağladığı ve bu nedenle de daha küçük çaplarda kabarcıkların elde edildiği bir üretece gerek olmadığı iddia edilmektedir.
3. Flotaire Kolonu (Zipperian ve Svensson, 1988); Ticari olarak pazarlanan en eski flotasyon kolonudur. Kolona farklı seviyelerden ve farklı iki sistemle hava verilmekte ve konvansiyonel kolonlardaki gibi derin köpük tabakası olmayabilmektedir. Özellikle ABD'de birçok uygulama alanı vardır. Örneğin, Florida fosfatlarının zenginleştirilmesinde başanlı sonuçlar elde edilmiştir (Gruber ve Kelahan, 1988).
4. Hydrochem Kolonu (Schneider ve Van Weert, 1988); Mekanik kanştırmayın kullanıldığı kolon tasanmdır. Kanştırmayı sağlayan pervaneler kolon boyunca bir şaft üzerine sıralanmış, pervanelerin meydana getireceği türbülans nedeniyle oluşan geri kanşmaya (back-mixing) engel olmak amacıyla iki pervane arasında, şaft üzerine diskler yerleştirilmiştir. Endüstriyel uygulaması yoktur.
5. Jameson Hücresi (Jameson, 1988); En fazla uygulama alanı bulan alternatif kolon tasanmdır. Palp ve hava aynı yönde (co-current) hücre tabanına doğru inen bir boru (downcomer) içerisinde karışarak ayınmm olduğu hücreye verilmektedir. Hücrede yalnızca tanelerle yüklenmiş hava kabarcıkların ile gang minerallerinin ayınmm gerçekleşmektedir. Yükselen tane ile yüklenmiş kabarcıklar yıkama suyu ile yıkanan köpük tabakasına girerler. Jameson hücresinde tanelerin kalma sürelerinin az olması nedeniyle tek aşamada istenilen performasm elde edilemediği belirtilmiştir (....., 1991a).
6. Temas Hücresi (Contact Cell-Amelunxen, 1992); Temas hücresi iki ana birimden oluşmaktadır. İlk birim, Jameson hücresinde olduğu gibi palp ve havanın kanştığı temas odacığdır. Palp/hava temas odacığı USBM kabarcık üreticine benzer şekilde tasarlanmıştır. Besleme temas odacığmdan geçerek tabanından kolona verilmektedir. İkinci birim ayınmmın gerçekleştiği hücredir ve yapı olarak konvansiyonel flotasyon kolonlarına benzemektedir. Henüz endüstriyel uygulaması bulunmamaktadır.
7. Turbo Kolon (<http://www.direct.ca/titaco/turbo.html>, 1996); Turbo kolon, Jameson hücresi ve flotasyon kolonunun özelliklerini taşımaktadır. Palp ve hava Jameson hücresindeki gibi aynı yönde (co-current) kolona üstünden kolon içine

doğru inen bir boru içerisinde karıştırılarak verilmekte, kolon tabanında ise konvansiyonel kolonlardaki gibi kabarcık üretici bulunmaktadır. Böylece tanelerin kabarcıklarla çarpışma olasılığının yükseldiği belirtilmiştir. Kömür ve sülfürlü cevherleri içeren 6 adet endüstriyel uygulamasının bulunduğu belirtilmiştir.

## 6. SONUÇ

Flotasyon kolonları ile cevher zenginleştirme endüstrisinde standart olarak kullanılan mekanik hücrelerin performansları karşılaştırıldığında, kolonlarında birçok alanda başarılı olabildiği görülmektedir. Bir anlamda flotasyon kolonları tane/kabarcık bağlanma sürecinin türbülanslı akış koşulları yerine sakin akış koşullarında da yapılabileceğini göstererek flotasyon teknolojisine önemli katkı sağlamıştır. Böylece yalnızca flotasyon kolonları değil, pek çok yeni hücre tasarımı da geliştirilmiş, bazıları endüstriyel uygulama alanı da bulmuştur.

Flotasyon kolonları ile yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar elde edilmesine rağmen, mekanik flotasyon hücreleri flotasyon uygulamalarının vazgeçilmez hücre tasarımı olmaya devam etmektedir. Mekanik hücre üreticileri de yeni tasarımlar karşısında boş durmamakta ve kendi tasarımlarını iyileştirmeye yönelik çalışmalara devam etmektedir. Uygulamaların büyük bölümünde her iki hücre tipi aynı akım şemasında kullanılmaktadır. Flotasyon kolonları özellikle temizleme aşamasında tercih edilirken, mekanik hücreler kaba, süpürme ve temizleme artığının süpürülme aşamasında kullanılmaktadır.

Ancak yine de, flotasyon hücrelerinin birbirlerine üstünlükleri konusunda gerçek anlamda bir sonuca varmanın güç olduğu

kabul edilmektedir. Çünkü çeşitli flotasyon hücreleri işlem parametreleri doğru olarak ayarlanarak çalıştırıldığında optimum performans değerleri yakalanabilmektedir. Bu nedenle uygulama aşamasında farklı flotasyon hücreleri ile ayrıntılı çalışmalar yapılmalı ve her hücre tipi için işletme ve yatırım maliyetleri de dikkate alınmalıdır.

## KAYNAKLAR

....., 1991a; Information Manual-Column Flotation Technology, Cominco Engineering Services LTD, Column Cell Technology Division

....., 1991b; Golden Grove, WA; "Copper ve Columnar Zinc from Scudlles", World Mining Equipment, May, s.38-40

....., 1991c; "Queensland, Hilton Highlights Australian Expertise", World Mining Equipment, May, s.30-34

Abdel-Khalek, N.A. ve Stachurski, J., 1993; "Beneficiation of Sulfur Ore by Conventional ve Column Flotation", Minerals & Metallurgical Processing, Aug., s. 135-138

Ahmed, N. ve Jameson, G.J., 1985; "The Effects of Bubble Size on the Rate of Flotation of Fine Particles", Int.J.Mineral.Process., Vol.14, s.195-215

Aksarı, B., 1996; Yayınlanmamış çalışma

Aksarı, B., 1997; "Kolon Flotasyonu Performansının Seçimlilik Problemi Olan Bir Cevherde İncelenmesi", Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı

Alford, R.A., 1990; "An Improved Model for the Design of Industrial Column Flotation Circuits in Sulphide Applications", Sulphide

Deposits-Their Origin ve Processing, P.M.J. Gray (Ed.), MM, s. 189-206

Amelunxen, R.L., 1993; "The contact Cell - A future generation of flotation machines", Engineering & Mining Journal, April, s.36-37

Arbiter, N. ve Weiss, N.L., 1970; "Design of Flotation Cells ve Circuits", Trans. AJVIE, Vol.247, s.340-347

Bhaskar Raju, G., Prabhakar, S. ve Sankaran, C., 1993; "Beneficiation of Iron Ores by Column Flotation", Trans. MM, 102, S.C132-135

Brewis, T., 1991; "Flotation Cells", Mining Magazine, June, s.383-393

Bunt, J., Van Nierop, P. ve Schneider, V., 1995; "The Flotation of an Ultrafine Bituminous South African Seam 4 Coal Using Novel Flotation Cell Technologies", Pittsburgh Coal Conference Proceedings, Shiao-Hung Chiang (Ed.), s.443-448

Burgess, F.L., 1997; "OK100 Tank Cell Operation at Pasminco-Broken Hill", Minerals Engineering, Vol.10, No.7, s.723-741

Carter, R.A., 1991; "Concentrating Copper with Columns", Engineering & Mining Journal, August

Ciensi, T. ve Coffin, V., 1981; "Column flotation operation at Mines Gaspé Mo Circuit", Canadian Mining J., March, s.28-33

Clingan, B.V. ve McGregor, D.R., 1987; "Column Flotation Experience at Magma Copper Co.", Minerals & Metallurgical Processing, Vol.3, No.3, s.121-125

ÇESL-Cominco Engineering Service Ltd., Column Cell Technology Division, 1991; Ürün katalogları ([Cesl@cyberstore.ca](mailto:Cesl@cyberstore.ca))

Coleman, R. ve Veloo, C., 1996; "Concentrator Expansion at Freeport Indonesia's Grasberg Operation", Mining Engineering, February

Deister Concentrator Company Inc., "Deister/Sala Flotaire Column Cell", 1991; Ürün katalogları

Dell, C.C., 1978; "Column Flotation of Coal-The Way to Easier Filtration", Mine ve Quarry, March, s.36-40

Dobby, G.S., 1990; "Froth Flotation Systems", Course Notes

Egan, J.R. Fairweather M.J. ve Meekel, W.A.C., 1988; "Application of Column Flotation to Lead ve Zinc Beneficiation at Cominco", Column Flotation'88, K.V.S. Sastry, (Ed.) Chapter 4, AME, s. 19-26, NY

Espinoza-Gomez, R., Finch, J.A.ve Johnson, N.W., 1989; "Evaluation of Flotation Column Scale-up at Mount Isa Mines Ltd.", Minerals Engineering, 2(3), s.369-375

Fair, I., 1992; "Evaluation of Alternative Flotation Technologies for Copper Cleaning ve Copper/Nickel Separation at Inco's Thompson Mill, Minerals Engineering", Vol.5, No. 10/12, s.1169-1183

Finch, J.A. ve Dobby, G.S., 1990; "Column Flotation", Pergamon Press

Flint, I.M., Wyslouzil, H.E., de Lima Andrade, V.L. ve Murdock, D.J., 1992; "Column Flotation of Iron Ore", Minerals Engineering, Vol.5, Nos. 10-12, s. 1185-1194

Foot, D.G., Mc Kay, J.D. ve Huiatt, J.L. 1986; "Column Flotation of Chromite ve Fluorite Ores", Canadian Metallurgical Quarterly, Vol.25, No.1, s. 15-21

- Foot, D.G., Mc Kay, J.D. ve Keyser, P.M. 1993; "New Uses of Flotation Columns, Flotation Plants. Are They Optimized?", D. Malhotra, (Ed.), Chapter 23, AIME, s. 159-163, NY
- Ghiani, M., Peretti, R. ve Zucca, A., 1995; "Application of Column Flotation Technique to Baryte ve Fluorspar Ores Beneficiation", Proceedings of the XIX MPC, AIME, Chapter 36, San Francisco
- Grainger-Allen, T.J.N., 1970; "Bubble Generation in Froth Flotation Machines", Trans. M.M., Vol.79, S.C15-22
- Gruber, G.A. ve Kelahan, M.E., 1988; "Flotaire Cell Applications in Phosphate Flotation, Column Flotation'88", K.V.S. Sastry, (Ed.) Chapter. 20, AIME, s.191-201, NY
- Hall, S.T., 1990; "The Treatment of Industrial Minerals by Column Flotation", Industrial Minerals Processing Supplement, s.30-36
- Halvorsen, W.J., 1979; "New Developments in Froth Flotation in the USA", Aufbereitungs Technik, 5, s.243-246
- Haptonstall, J.C., 1994; "Minera Bismark", Mining Magazine; October; s. 195-201
- Harris; C.C.; 1976; "Flotation Machines, in Flotation-A.M.Gaudin Memorial Volume", (M.C. Fuerstenau, Ed.), AIME, NY, s.753-815
- Harris, M.C, Franzidis, J.-P., O'Connor, C.T. ve Stonestreet, P., 1992; "An Evaluation of the Role of Particle Size in the Flotation of Coal Using Different Flotation Cell Technologies", Minerals Engineering, Vol.5, No.10/12, s.1225-1238
- Harris, M.C, Franzidis, J.-P., Breed, A.W. ve Deglon, D.A., 1994; "An On-Site Evaluation of Different Flotation Technologies for Fine Coal Beneficiation", Minerals Engineering, Vol.7, No.5/6, s.699-714
- Honaker, R.Q., Mohanty, M.K., Paul, B.C. ve Ho, K., 1994; "A Comparison Study of Commercially Available Column Flotation Technologies", Pittsburgh Coal Conference Proceedings, Vol.2, Sept. 12-16, s.854-859
- <http://www.cesl.com/files/column.html>, 1995
- <http://www.cesl.com/files/vosother.html>, 1995
- <http://www.direct.ca/titaco/turbo.html>, 1996
- Huls, B.J. ve Williams, S.R., 1993; "Limitations in the Application of Column Flotation", XVHI Int. Mineral Processing Congress, Sydney, 23-28 May, sJ79-784
- Jameson, G.J., 1988; "A New Concept in Flotation Column Design, Column Flotation'88", K.V.S. Sastry, (Ed.) Chapter 30, AIME, s.281-286, NY
- Kallioinen, J. ve Heiskanen, K., 1993; "Effective Flotation of a Difficult Nickel -Ore Based on Intelligent Mineral Technology", Minerals Engineering, Vol.6, Nos.8-10, s.917-928
- Kallioinen, J. Heiskanen, K. ve Garrett, C, 1995; "Large Flotation Cell Tests Successful in Chile", Mining Engineering, October, s.913-915
- Keyser, P.M., Ashford, J.R. ve McKay, J.D., 1993; "Zinc Column Design at Ozark-Mahoning", Mining Engineering, December, s. 1463-1466
- Kho, C.-J. ve Sohn, H.-J., 1989; "Column Flotation of Talc", Int.J.Mineral.Process., Vol.27, s. 157-167
- Laplante, A.R., Kaya, M. ve Smith H.W., 1989; "The Effect of Froth on Flotation

- Kinetics-A Mass Transfer Approach", Minerals ve Extractive Metallurgy Review, Vol.5, s. 147-168
- Mathieu, G.I., 1972; "Comparison of Flotation Column with Conventional Flotation for Concentration of a Molybdenum Ore", CM Bulletin, May, s. 41-45
- McKay, J.D., Foot, D.G. ve Huiatt, J.L. 1986; "Column Flotation of Montana Chromite Ore", Minerals & Metallurgical Processing, August, s. 170-177
- McKay, J.D., Foot, D.G. ve Shirts, 1988; "Column Flotation ve Bubble Generation Studies at the Bureau of Mines", Column Flotation'88, K.V.S. Sastry, (Ed.) Chapter 18, AIME, s. 173-186, NY
- McKay, J.D., Keyser, P.M., Foot, D.G. ve Ynchausti, R.A. 1992; "Application of Column Flotation Cells as Roughers", presented at Society for Mining, Metallurgy ve Exploration Annual Meeting, February 23-27, Phoenix, Arizona
- Meekel, W.A.C., Egan, J.R. ve Fairweather M.J., 1988; "Column Flotation Pilot Plant Studies at Pine Point Mines LTD.", presented at the CDM District 6 Meeting in Fernie, B.C., September 29-30
- Moon, K.S. ve Sirois, L.L., 1987; "Theory ve Application of Column Flotation", Canmet Report, Mo.87-7E
- Morizot, G., Save, M., Conil, P. ve Mangeot, M. 1991a; "Column Versus Mechanical Flotation: Application to the Chessy (France) Polymetallic Project, Copper'91", International Symposium, Vol.n, August 18-21, Ottawa, Canada
- Morizot, G., Save, M., Conil, P. ve McKay, J. 1991b; "Shrinkage of Roughing ve Cleaning Stage with Column Flotation: the Chessy Case, Column'91", Agar, Huls, Hyma (Eds.), Vol.1, s.75-88
- MULTOTEC Cyclones (Pty) Ltd., 1995; Ürün katalogları
- Murdock, D.J., 1993; "Column Cells Continue to Find New Applications", Mining Magazine, May, s.238-243
- Narasimhan, K.S., Rao, S.B. ve Chowdhury, G.S., 1972; "Column Flotation Improves Graphite Recovery", Engineering & Mining Journal, May, s.84-85
- Ohmura, N. ve Saiki, H., 1994; "Desulfurization of Coal by Microbial Column Flotation", Biotechnology ve Bioengineering, Vol.44, s. 125-131
- Readfearn, M.A. ve Egan, J.R., 1988; "Large Diameter Column Optimization ve Scale-up, Processing of Complex Ores", G.S. Dobby ve S.R. Rao (Eds.), CIM, s.303-309
- Reddy, P.S.R., Kumar, S.G., Bhattacharyya, K.K., Sastri, S.R.S. ve Narasimhan, K.S., 1988; "Flotation Column for Fine Coal Beneficiation", Int. J. Miner. Process., Vol.24, s.161-172
- Reis, J.B. ve Peres, A.E.C., 1991; "Industrial Application of Flotation Columns in the Concentration of a Sulfide ore at Mineração Manati Ltd. Brazil, Column'91", Agar, Huls, Hyma (Eds.), Vol.2, s. 185-197
- Rocher, W. ve Hanks, J., 1993; "Metallurgical Developments Since 1982 at Phelps Dodge's Ojos del Salado Concentrator in Chile", Mining Engineering, December, s. 1455-1458
- Russeland, R.L. ve Keiffer, C.D., 1994; "Mill Expansions at PT Freeport Indonesia", Mining Eng., September, s.1051-1056

- Ryan, P.J. ve Madson, J.L., 1996; "Candelaria Low-cost Copper-Gold Producer in Chile", Mining Engineering, Vol.48, No.9, s.44-51
- Schena, G. ve Casali, A., 1994; "Column Flotation Circuits in Chilean Copper Concentrators", Minerals Engineering, Vol.7, No. 12, s. 1473-1486
- Schneider, J.C. ve Van Weert, G., 1988; "Design ve Operation of Hydrochem Flotation' Column, Column Flotation'88", K.V.S. Sastry, (Ed.) Chapter 31, AIME, s.287-292, NY
- Schubert, H., 1988; "Counter-Current Flotation Cells (Flotation Columns)-Present State ve Current Trends", Aufbereitungs Technik, 6, s.307-315
- Schultz, C.W., Mehta, R.K. ve Bates, J.B., 1991; "The Flotation Column as a Froth Separator", Mining Engineering, December, s. 1449-1451
- Skillen, A., 1993; "Froth Flotation New Technologies Bubbling Under", Industrial Minerals, February, s.47-59
- Soto, H., 1988; "Column Flotation with Negative Bias", Processing of Complex Ores, G.S. Dobby ve S.R. Rao (Eds.), CM, s.379-385
- Traha-, W.J., 1981: "The Rational Interpretation of the Role of Particle Size in Flotation", Int. J. Miner. Process., Vol.8, s.289-327
- Wyslouzil, H.E., Flint I.M. ve Murdock, D.J., 1994; "The Use of Column Flotation to Reduce Silica in Iron Ore Pellets", Minerals & Metallurgical Processing, Feb., s.1-4
- Visser, P.R., Coetzee, M.L. ve Kendall, S.G., 1994, "Flotation of Autogenously Milled Material", Minerals Engineering, Vol.7, Nos.2/3, s.357-369
- Yang, D.C., 1988; "A New Packed Column Flotation System, Column Flotation'88", K.V.S. Sastry, (Ed.) Chapter 28, AIME, s.257-266, NY
- Yianatos, J.B., 1990; "Column Flotation-Modelling ve Technology", The International Colloquium, "Developments in Froth Flotation" Organized by South African IMM, Cape Town, South Africa, August
- Yoon, R.-H., 1993; "Microbubble Flotation", Minerals Engineering, Vol.6, No.6, s.619-630
- Yoon, R.-H., 1994; "Theory of Column Flotation ve Its Application in Coal ve Minerals Industries", İTÜ Maden Müh.Böl. Meslekte Yenilenme Semineri, 30 Mayıs-1 Haziran, İstanbul
- Young, P., 1982; "Flotation Machines", Mining Magazine, January, s.35-59
- Zipperian, D.E. ve Svensson, U., 1988; "Plant Practice of Flotaire Column Flotation Machine for Metallic ve Coal Flotation", Column Flotation'88, K.V.S. Sastry, (Ed.) Chapter 7, AIME, s.43-54, NY