

## Kolon Flotasyonunda Hava Hızının Su ile Taşınımına Etkisi

Hülya Kurşun<sup>1\*</sup>, İbrahim Erdoğan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Cumhuriyet Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, [hkursun@cumhuriyet.edu.tr](mailto:hkursun@cumhuriyet.edu.tr)

<sup>2</sup> Cumhuriyet Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, [ibrahim\\_erdogn@hotmail.com](mailto:ibrahim_erdogn@hotmail.com)

\*Sorumlu yazar

### Özet

Hidrofilik tanelerin konsantreye gelmesinde önemli rol oynayan su ile taşınım, kolon içerisinde tabandan yukarı yükselen hava kabarcığının arkasında veya çevresinde su ile ya da köpük ara yüzeyinde yukarı doğru hareket eden hava kabarcıkları tarafından ince tanelerin itilerek köpük fazı içine taşınması olayıdır.

Bu çalışmada, 5 cm çapında 75 cm yüksekliğinde dairesel kesitli kolon hücresi kullanılmıştır. Yüksek saflıktaki kalsit (%97.78 CaCO<sub>3</sub>) ve sölestit (%97.20 SrSO<sub>4</sub>) minerallerinin karışımı (1:1 oranında) ile değişen hava kabarcığı hızlarında kalsit, sölestit ve su verimi değerleri hesaplanmış, Kirjevainen Modeli (1989) kullanılarak kalsit için su ile taşınım faktörü ( $P_i$ ) elde edilmiştir. Kolon hücresi ile 1 cm/sn hava hızlarında 4 dakika kalma süresinde konsantrede yüksek verim ve seçicilik değerine ulaşılmış ve en düşük su ile taşınım faktörü ( $P_i$ : 0.365) elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kalsit, Kolon Flotasyonu, Sölestit, Su ile Taşınım

### Influence of Superficial Air Rate on Entrainment in Column Flotation

#### Abstract

Entrainment, which is play an important role in the water-entrained concentration of hydrophilic particles, takes place behind or round the uprising air bubbles, through the pushing of the water or the uprising bubbles the entrainment of fine particles at the bubble interface.

In this study, a column cell with a height of 75 cm, diameter of 5 cm and circular cross-section was used in our experiments. Calcite, sölestit and water recovery were calculated with a mixture (1: 1 ratio) of artificial minerals of high purity calcite (97.78% CaCO<sub>3</sub>) and celestite (97.20% SrSO<sub>4</sub>) at different superficial air rates. The results showed that the superficial air rate had significant effect on the grade and recovery, flotation time, and fine gangue entrainment. When the superficial air rate (1 cm/sec.) were used, high recovery and selectivity values were reached in column flotation (4th minute residence time) and entrainment factor was calculated the lowest ( $P_i$ : 0.365). The superficial air rate also influenced flotation rate and recovery of celestite particles to a great extent. Kirjevainen (1989) model was used for describing a specific entrained factor ( $P_i$ ) of hydrophilic particles in this study.

**Keywords:** Calcite, Celestite, Column Flotation, Entrainment

### 1 Giriş

Cevher yataklarının tenörlerinin azalması, ince tane boyutunda serbestleşen kompleks cevherlere ihtiyaç duyulması, seçicilik problemi olan cevherleri işletme zorunluluğu ve yatırım maliyetlerinin artışı kolon flotasyonuna olan ilgiyi artırmaktadır. Kolon flotasyonu, ince tane boyutunda ki mineral tanelerini gangandan

ayırıp köpük yardımıyla köpük fazında toplayarak yüzdürme yoluyla yapılan bir zenginleştirme işlemidir. Endüstriyel uygulamalarında elde edilen başarılar alternatif hücre tasarımlarına neden olmuştur. Bautin ve Wheeler (1967a), tanelerin türbülansın olmadığı bir ortamda askıda kalmaları için ince, uzun ve yüksek bir hücre yapısı içinde olmaları gerektiğini belirtmiş, mekanik flotasyon hücrelerinde oluşan türbülansın ince

gang tanelerinin konsantreye taşınarak kirlenmelere neden olduğunu belirtmiştir [Finch & Dobby, 1990].

Kolon hücreleri ile ilgili ilk çalışmalar, Wheeler (1966), Bautin ve Wheeler (1967b) tarafından yapılmıştır. 1980'li yıllara kadar kolon flotasyonu ile Sastry ve Furstenau (1972) kolonların modellenmesi, Narasimhal vd. (1972) grafit zenginleştirilmesi, Mathieu (1972) molibdenit'in zenginleştirilmesi olmak üzere sadece üç çalışmanın gerçekleştirildiği görülmektedir [Finch & Dobby, 1990]. Hidrofilik taneler için sadece su ile taşınım söz konusu olurken hidrofobik tanelerin konsantreye sürüklenmeleri (entrainment) hem hava kabarcığına bağlanarak, hemde hava kabarcığına bağlanmadan gerçekleşmektedir. Hidrofilik tanelerin konsantreye su ile taşınarak geldiği kabul edilmiş, hidrofilik taneler için farklı su ile taşınım modelleri geliştirilmiştir. Bu modellemeler su ve katı kazanımı arasında doğrusal bir ilişki kurulması ve değişimlerin bu doğrusal ilişkiye bağlı olduğu temeline dayanmaktadır.

Su ile taşınım ilk olarak Gaudin vd. (1931) ve Johnson vd. (1974) tarafından incelenmiştir. Jowett (1966), konsantrede ki serbest gang derişimi ile pülp içerisinde ki serbest gang derişimi arasında bir ilişki olduğunu belirtmiş, yine Johnson vd. (1974) de, su ile kazanım deneysel çalışmalarına bağlı olarak, su kazanım hızı ve sınıflanma fonksiyonunu kullanarak pilot tesis üzerinde deneysel çalışmalarında bir model önermişler, su ve katı verimleri arasında parabolik bir ilişki olduğunu, buna bağlı olarak ta bir sınıflandırma fonksiyonunu tanımlamışlardır. Kirjavainen ve Laapas (1988), Kirjavaine (1989), çalışmalarında farklı mineraller kullanarak bir transfer faktörü tanımlamışlar ve farklı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Kirjavainen ve Laapas (1988) çalışmalarında, tane kütlelerine bağlı olan transfer faktörünü denklem 1' de verildiği gibi tanımlamışlardır.

$$P=1-D\log(m) \quad (1)$$

Doğrusal ilişkinin hidrofilik minerallerin taşınımaları arasında olmayacağı belirtilerek denklem 2' de ifade edilebilen bir model önerilmiştir.

$$R=1-\exp(-P_i R_w), \quad P_i = \ln(1-R_i) / -R_w \quad (2)$$

$R_i$ : hidrofilik malzeme verimi

$P_i$ : sürüklenme faktörü

$R_w$ : su verimi

Su ile taşınım faktörü, 1990 dan sonra bir çok araştırmacı tarafından farklı matematiksel modeller geliştirilerek tanımlanmıştır [Kirjavainen & Laapas, 1988; Kirjavainen 1989, 1992, 1996; Savassi vd., 1998; Zheng vd., 2005a, 2005b, Zheng vd., 2006; Yianatos vd., 2009; Yianatos & Contreras, 2010; Konopacka & Drzymala 2010].

Flotasyon sistemlerinde gerek hidrofobik gerekse hidrofilik su ile taşınımını etkileyen birçok parameter mevcuttur. Özellikle hava hızı, köpürtücü türü ve miktarı, kabarcık çapı birbirini doğrudan etkileyen parametrelerdir [Rahal vd. (2001), Melo & Laskowski (2007), Wiese & Harris, (2012), Kracht vd. (2016), Wang vd. (2016, 2017)].

Kurşun (2014)'de mekanik ve kolon flotasyonun da tane boyutunun ve köpürtücü miktarlarının su ile taşınım faktörüne etkisini incelemiş, Kirjavainen ve Laapas (1988), Kirjavainen (1989) modelini uygulayarak kolon hücrelerinde su ile taşınım faktörünün daha az olduğunu ortaya koymuştur. Yine, Kurşun (2017) çalışmasında, kolon flotasyon hücresinde köpürtücü miktarı ve türünün su ile taşınım faktörüne ( $P_i$ ) etkisini belirlemek amacıyla bir grup deneyler yapmıştır. Ayrıca farklı hava hızlarında kabarcık çaplarını belirlemiş, köpürtücü tür ve miktarlarının kabarcık boyutunu değiştirerek performans üzerinde önemli ölçüde etkili olduğunu verim ve seçimlilik açısından değerlendirmiş, Kirjavainen ve Laapas (1988); Kirjavainen (1989) modelini kullanarak su ile taşınım faktörlerini belirlemiştir.

Bu çalışmada, kolon flotasyonunda farklı hava hızlarının (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 cm/sn) su ile taşınım faktörüne ( $P_i$ ) etkisini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Kolon flotasyon hücrelerinde hava hızının kalsit-su verimine ve su ile taşınım faktörüne ( $P_i$ ) önemli derecede etkilediği, sölestit kazanımı ve seçimlilik açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Kirjavainen ve Laapas (1988), Kirjavainen (1989)'ın belirlemiş olduğu model üzerine uygulanarak yorumlanmıştır.

## 2 Deneysel Çalışmalar

### Malzeme ve Yöntem

Sivas-Ulaş bölgesinde BMT Alçı A.Ş. tarafından işletilen yüksek saflıkta %97.78% CaCO<sub>3</sub> içeren kalsit ile yine aynı bölgeden (Barit Madencilik A.Ş.) alınan 97.2% SrSO<sub>4</sub> içeren (1:1) oranında karıştırılmış numuneler ile deneysel olarak çalışılmıştır. Kalsitin tamamı -38µm' ye, sölestit ise(-106+38 µm) boyut aralıklarında bilyalı değirmen kullanılarak hazırlanmıştır. Sölestit ve kalsitin kimyasal analiz sonuçları (X-Ray Fluorosans) Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Deneylerde kullanılan Sölestit ve Kalsit'in Kimyasal Analizi (Kurşun, 2014).

	Bileşim	%
Sölestit	SrSO <sub>4</sub>	97.20
	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	2.32
	Others (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MgO)	0.48
Kalsit	CaO	54.42
	LOI	43.36
	Others(MgO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> O,SO <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, SiO <sub>2</sub> <0.01)	2.22

Deneysel çalışmalarımızda, 75 cm yüksekliğinde 5 cm çapında dairesel kesitli kolon flotasyonu hücresi (Ünal Mühendislik A.Ş.) kullanılmıştır. Şeffaf olması (flexiglass) akış koşulundaki değişimler ve pülp/köpük arayüzeyinin rahatlıkla gözlenebilmesi açısından olanak sağlamaktadır. Kolona verilen hava, farklı hava hızlarında (0.5-1.0-1.5-2.0 cm/sn) hava akış ölçer yardımıyla ayarlanmıştır. Kabarcıklar hava üreten hava taşları ve maksimum 1.8 dev/dak., >0.012Mpa basınçta bir akvaryum pompası kullanılarak sağlanmıştır. İkili faz (hava/su) sisteminde oluşturulan hava kabarcıkları, 40 sn görüntülenerek (CANON EOS 5D-Mark II) film dosyası haline getirilmiş, media player'da oynatılırken uygun an seçilip bilgisayar ekranına kaydedilen görüntü dondurularak, Capture Programı yardımıyla ve Corel Draw'da, kolon üzerine yapıştırılan milimetrik kağıt ile karşılaştırma yapılarak ve kabarcık çapları boyutlandırılmıştır. Farklı yü-

zeyssel hava miktarlarında kabarcıkların görüntüleri bu şekilde alınmıştır. Yıkama suyu, kolon üst kısmının 2.0 cm yukarisından verilmiş, deneyler sırasında yıkama suyu sisteminin köpüğü engellenmemesine ve kırmamasına dikkat edilmiştir. Besleme tankı kolon hacminin beş katı olarak tasarlanmıştır. Kolon flotasyonu deneylerinde ANKE&KUNKEL'in IKA-WERK RW 20 modeli karıştırıcı, 60 dev/dak. hızla pülpü karıştırmakta, koşullandırma ve pH ayarlama tank içerisinde yapılmaktadır. Çalışma sırasında musluk suyu (pH: 7.8) NaOH kullanılarak pH:10'a ayarlanmıştır. Kollektör olarak anyonik kollektör olan Na-Oleat (600 g/t), köpürtücü olarak 80 g/t MIBC kullanılarak deneyler yapılmıştır. Besleme ve artık çıkışı peristaltik pompalar yardımıyla yapılmakta olup yıkama suyu kolon yüzeyine verilen duş sistemi yardımıyla sağlanmaktadır. Ön deneylerle pompaların performansları ölçülmüş ve pülpdeki katı içeriğinin çalışma süresince değişmediği gözlenmiştir. Şekil 1'de deneysel çalışmalarda kullanılan kolon flotasyonu deney düzeneği görülmektedir. Deneyler sonucunda farklı hava hızlarında elde edilen ağırlıkça katı (105 °C) ve su miktarları hesaplanarak hidrofilik kalsit için Kirjavainen (1989) modeli uygulanmış, su ile sürüklenme faktörü (Pi) hesaplanmıştır (denklem 2).

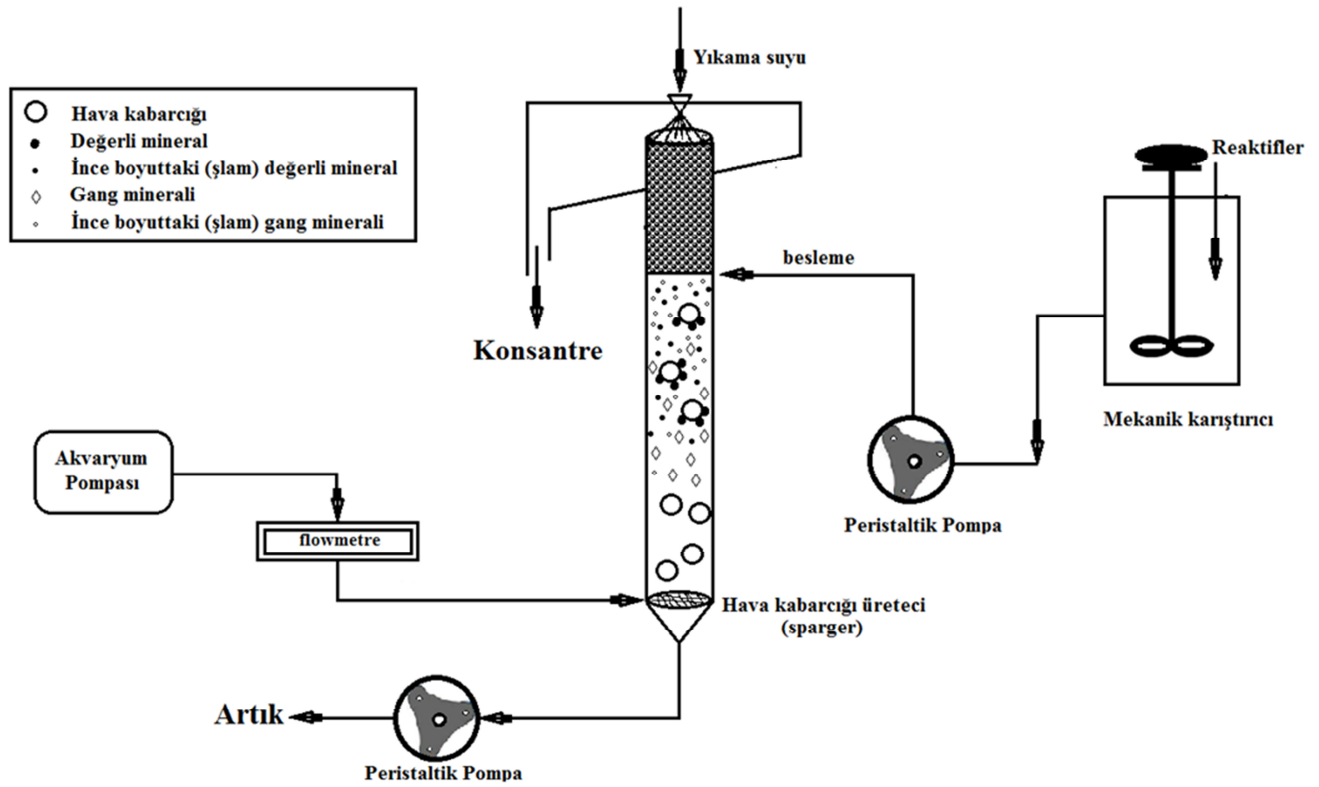
### 3 Kolon Flotasyonu Deneyleri

*İkili faz sisteminde hava hızı, köpürtücü miktarı ve kabarcık çapı arasındaki ilişki*

Kolon flotasyonunda kabarcık çapı, sistemin içinde değerleri bağımsız olarak değiştirilemeyen en önemli parametrelerden biridir. Hava miktarı ve kabarcık çapı flotasyon kolonundaki hava tutunumunu belirlemede hava miktarının artışı kolondaki hava tutunumunu artırmaktadır. İkili faz sisteminde (hava/su), farklı yüzeysel hava miktarlarında köpürtücü miktarına bağlı olarak hava tutunumunda doğrusal artışın sağlandığı araştırmacılar tarafından tanımlanmıştır [Finch & Dobby, 1990; Kursun, 2003] Ancak belirli bir akış hızı değeri aşıldığında, kolondaki kabarcıklı akış koşulları bozularak büyük kabarcıkların meydana getirdiği türbülanslı akış koşulları oluşmaktadır. Kolon flotasyonunda daha çok kabarcıklı akış koşullarının oluşması istenildiğinden bu durum kolonlarda arzu edilmez. Artan hava miktarı ile verimin maksimum değer verecek şekilde artırdığını ve belirli bir noktadan sonra ise azaldığı vurgulamakta olup tenör ise tam tersi bir eğilim göstermekte, verimin maksimum olduğu bölgede

minimum değer almaktadır [Maksimov vd., 1991; Groppo & Parekh, 1990, 1993; Goodal & O'Connor, 1992]. Kolon flotasyonunun çalıştığı kabarcıklı akış rejiminde, kabarcığın 2 mm altında olduğu durumlarda en iyi sonuçlar elde edilmektedir. Kabarcık çapının büyümesi, hava tutunumu miktarını artırmakta bunun sonucunda kolon flotasyonu çalışma koşulları bozulmaktadır. Şekil 2'de Kurşun (2017)'de yapmış olduğu çalışmasında, ikili faz (su/hava) sisteminde 80 g/t MIBC

konsantrasyonlarında farklı hava hızlarında oluşan kabarcıkların görüntüleri görülmektedir. 2 cm/sn hava hızında kabarcıklar birbirlerine çarpmaya başlamakta ve daha büyük çaplı kabarcık oluşumu sağlanmaktadır. 2 cm/ sn' den daha büyük olması durumunda türbülans akış rejiminin etkisi ile kabarcıklar birleşerek hızla büyümekte, yuvarlak görüntülerinden uzak daha eliptik yayılma göstermiş konumdadır.



Şekil 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kolon flotasyonu düzeneği.

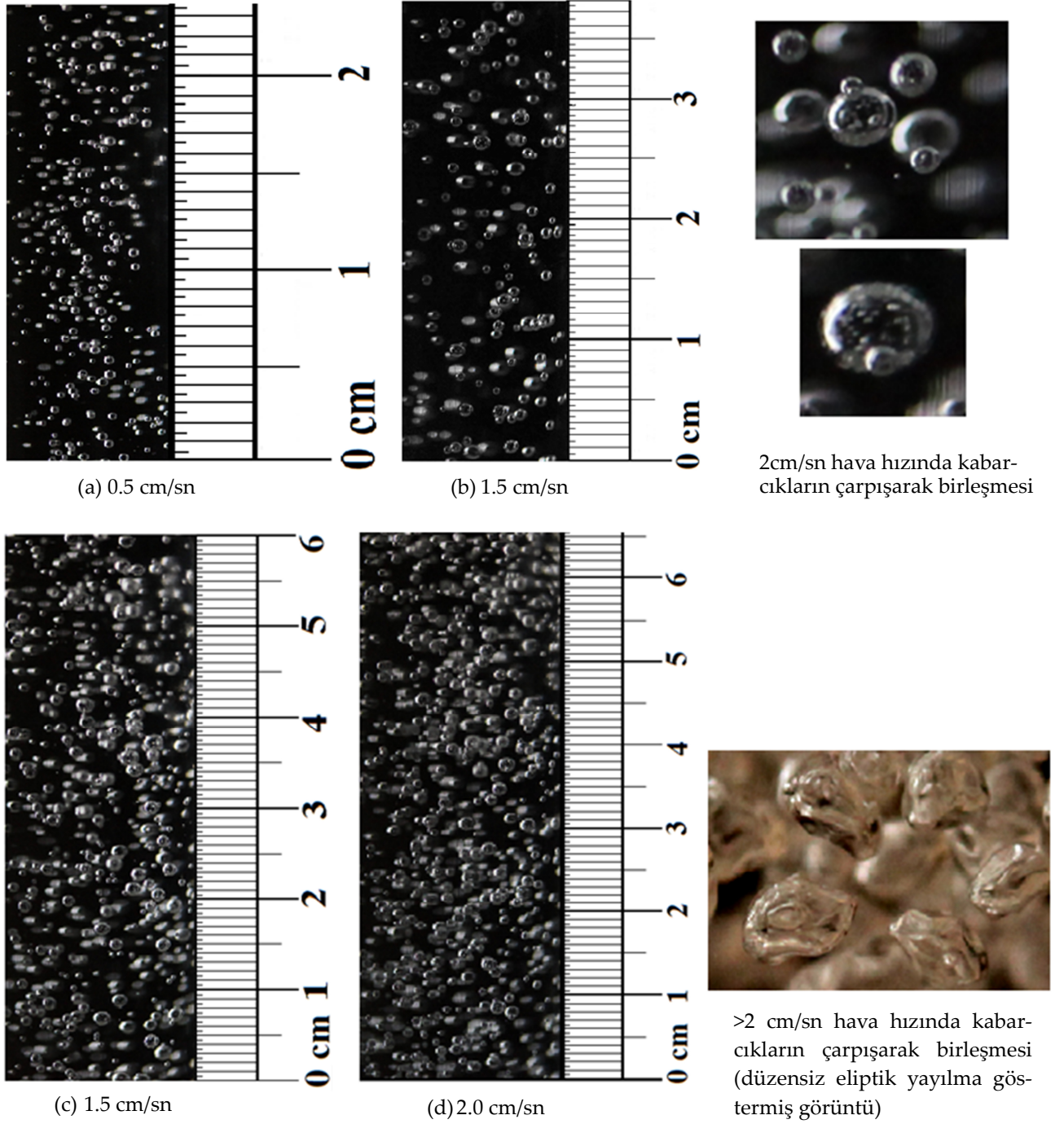
#### Hava Hızının İnce Tanelerin Su ile Sürüklenmesine Etkileri

Bu çalışma, Kurşun (2017)'de yapmış olduğu çalışmasının devamında yapılan bir araştırmadır. Kurşun (2017)'de ikili faz sisteminde (hava/su) kabarcık çaplarını Çam yağı ve MIBC için belirlemiş ve kolonda 1.0cm/sn hava hızında 80 g/t MIBC kullanıldığında Çam yağı'na göre daha küçük çaplı kabarcık oluşumu sağlandığını, daha kararlı bir köpük oluşumu elde edilebildiğini belirtmiştir.

Kurşun (2017), tarafından optimize edilen köpürtücü

türü ve miktarı (80 g/t MIBC) kullanılarak, bu çalışmada farklı hava hızlarının su ile taşınma etkileri araştırılmıştır.

Kolon flotasyonunda, hava hızına bağlı olarak su ve kalsit kazanımı ile su ile sürüklenme faktörüne etkileri Tablo 2'de ve Şekil 3 ve 4'de verilmiştir. %20 katı oranı, 4 dakika kalma süresi ve kollektör olarak 600g/t Na-Oleat, köpürtücü olarak 80 g/t MIBC, besleme hızı 400 ml/dak., yıkama suyu hızı 150 ml/dak. deneysel koşullarında çalışılmıştır.

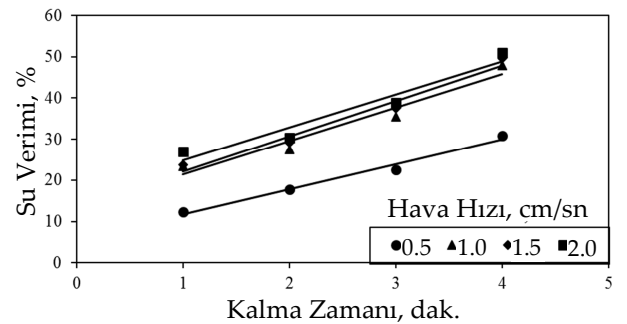
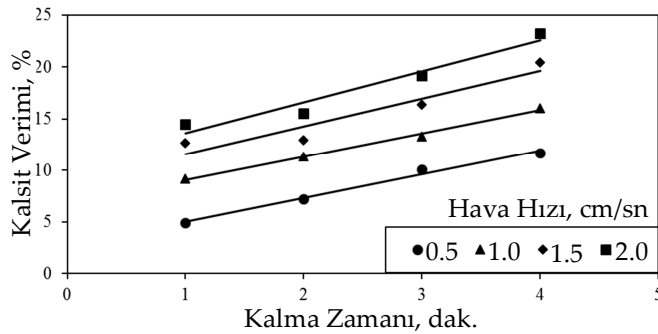


Şekil 2. İkili faz sisteminde farklı hava hızlarında kabarcıkların görüntüleri (Kurşun, 2017).

**Table 2.** Flotasyon kolonunda flotasyon zamanına bağlı olarak farklı hava hızlarında sölestit-kalsit-su verimi ve su ile taşınım faktörüne etkisi (sölestit (-106+38 µm), kalsit(-38µm)).

Hava Hızı (cm/sn)	Kalma Zamanı (dk)	Verim (%)			Tenör(%)		Pi
		Sölestit	Kalsit	Su	Sölestit	Kalsit	
0.5	1	47.25	4.95	12.35	69.43	30.57	0.411
	2	50.43	7.24	17.72	72.31	27.69	0.424
	3	53.77	10.12	22.46	76.12	23.88	0.475
	4	63.81	11.67	30.94	77.09	22.91	0.401
1.0	1	75.52	9.21	23.41	81.41	18.59	0.413
	2	77.28	11.32	27.48	83.34	16.66	0.437
	3	83.48	13.33	35.51	83.25	16.75	0.403
	4	87.11	16.06	47.89	89.95	10.05	0.365
1.5	1	67.15	12.65	23.73	82.75	17.25	0.570
	2	70.96	12.98	29.18	81.17	18.83	0.476
	3	72.33	16.37	37.48	82.23	17.77	0.477
	4	76.41	20.41	49.58	83.45	16.55	0.460
2.0	1	71.66	14.51	27.03	79.82	20.18	0.580
	2	73.25	15.55	30.45	78.41	21.59	0.555
	3	74.21	19.16	38.95	78.17	21.83	0.546
	4	71.93	23.22	50.95	74.23	25.77	0.517

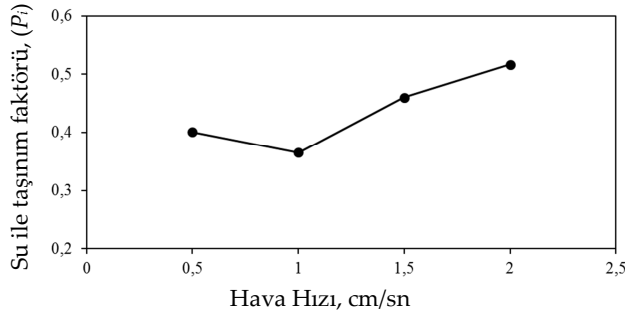
Katı oranı: 20%, Kolektör Miktarı:600 g/t Na-oleate, Köpürtücü Miktarı: 80g/t MIBC, Besleme Hızı: 400 ml/dk., Yıkama Suyu Hızı: 150 ml/dk



**Şekil 3.** Kolon flotasyonunda flotasyon zamanına bağlı olarak farklı hava hızlarında kalsit veriminde ki değişim.

**Şekil 3.** Kolon flotasyonunda flotasyon zamanına bağlı olarak farklı hava hızlarında su veriminde ki değişim.

Şekil 3 ve 4'den de görüldüğü gibi kolon flotasyonunda kalsit ve su verimi tanelerin flotasyonda kalma zamanına bağlı olarak artmaktadır. Artan hava hızlarında su ve kalsit kazanımında arttığı görülmüştür. 1 cm/sn hava hızı kullanıldığında 4. dakika flotasyon zamanında sölestit kazanımı %87.11, tenör değeri ise % 89.95 olmaktadır. Su ile taşınım faktörü 1 cm/sn hava hızında konsantrede en düşük kalsit kirlenmesini sağlamış ve böylece en düşük su ile taşınım faktörü,  $P_i$ : 0.365 olarak Kirjevainen Modeli'ne göre hesaplanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Kolon flotasyonunda hava hızının su ile taşınım faktörüne etkisi.

Kolon hücrelerinde, karıştırma ünitesinin olmayışı, yıkama suyunun kolonun üst kısmından verilmesi, hava kabarcıklarının hava üreteçleri yardımıyla sağlanması ve kabarcık çapının kontrol edilebilirliği, köpük derinliğinin yüksek olması köpük bölgesinde su akışının azalması ve hava tutunumunun fazla olmasını sağlamaktadır. Ayrıca kolon hücrelerinin fiziksel avantajlarının olması özellikle uzun bir gövde yapısı patlayan kabarcıklardan ayrılan tanelerin bir sonraki köpüğe tutunma olasılığının yüksek olmasını sağlamaktadır. Tane-kabarcık kopması köpük-pülp arayüzeyinde gerçekleştiğinden taneler kolona yeni beslenmiş taneler ile aynı kalma süresine sahip olduğundan su ile taşınımı azaltıcı üstünlükler ortaya koymaktadır.

#### 4 Sonuçlar ve Öneriler

Kolon flotasyonunda yüksek saflıkta sölestit-kalsit (1:1) karışımı ile farklı hava hızlarında kalsit, su, sölestit verimleri ve kalsit tanelerinin su ile sürüklenme faktörü [Kirjavainen & Laapas, 1988; Kirjavaine, 1989] hesaplanmıştır.

DeneySEL çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşmak mümkün olabilmektedir.

Hava hızının kolon flotasyonunda önemli bir parametre olduğu ortaya konmuş ve saf sölestit-kalsit karışımı ile yapılan deneylerde hava hızındaki değişimin hidrofilik mineral ve su kazanımı üzerine etkisi oldukça fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca, su ile sürüklenme faktörü değişen hava hızlarında önemli bir değişim göstermiştir. Kolon flotasyonu ile zenginleştirmede 1 cm/sn hava hızında yüksek sölestit verim (%87.11) ve seçimliliğine (% 89.95) ulaşılmıştır. Su ile sürüklenme faktörü Kirjevainen Modeli ile hesaplanmış ve ( $P_i$ ): 0.365 olarak en düşük değer elde edilmiştir.

Kolon hava hızı, köpürtücü türü ve miktarı, hava tutunumu ve kabarcık çapı birbiriyle doğrudan ilişkili parametrelerdir. Bu nedenledir ki, ikili (su+hava) ve özellikle de üçlü (su+hava+mineral) faz sistemlerin de hava hızına bağlı olarak hidrofik ve hidrofob minerallerin su ile taşınımının verim ve seçimlilik üzerine etkilerinin daha detaylı çalışılması gerektiği öngörülmektedir.

Kolonların mekanik flotasyon makinalarına kıyasla ortaya koymuş oldukları üstünlükler düşünüldüğünde, yıkama suyu sistemleri, hücre geometrisi, köpük yıkama sistemleri v.s. gibi özellikle de son yıllarda önem kazanan mekanik-ultrasonik titreşimlerin hidrofilik tanelerin su ile taşınımı azaltıcı etkiye sahip olduğu bilindiğinden daha geniş çapta yapılacak olan çalışmaların tenör ve seçimlilik açısından fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

#### 5 Referanslar

- Boutin, P. & Wheeler, D. A. (1967a). Column Flotation Development Using an 18 Inch Pilot Unit. *Canadian Mining Journal*, 88, 94-101.
- Boutin P. & Wheeler D. A. (1967b). Column flotation. *Mining World*, 20 (3), 47-50.
- Finch, J.A. & Dobby, G.S. (1990). Column Flotation. *Pergamon Press*, Oxford (UK), USA, 180.
- Gaudin, A. M., Groh, J.O. & Henderson, H.B. (1931). Effect of particle size on flotation. *A.Tech. Publ.*, 414, 3-23.
- Goodal, C.M. & O'Connor, C.T. (1992). Residence Time Distribution Studies in a Flotation Column,

- Part 1- The Relationship Between Solids Residence Time Distribution and Metallurgical Performance. *Int. J. Miner. Process.*, 36, 219-228.
- Groppo, J.G. & Parekh, B.K. (1990). Continuous Pilot Scale Testing of Column Flotation for Very Fine Coal from Refuse. *Minerals & Metallurgical Processing*, February, 9-12.
- Groppo, J.G. & Parekh, B.K. (1993). Comparison of Bubble Generating Devices for Column Flotation of Fine Coal. *Mining Engineering*, October, 1189-1190.
- Johnson, N.W., MC Kee, D.J. & Lynch, A.J. (1974). Flotation Rates of Non-Sulphide Minerals in Chalcopyrite Processes Trans.Am.Ins.Min. *Metall.Pet. Eng.*, 256, 204-226.
- Jowett, A., (1966). Gangue Mineral Contamination of Froth. *Br. Chem.Eng.*, 2 (5), 330-333.
- Kirjavainen, V.M. & Laapas, H.R. (1988). A Study of Entrainment Mechanism in Flotation. *XVI International Mineral Processing Congress*, Stockholm, Sweden, June 5-10, Part B. Forssberg K.S.E. ed. (Amsterdam), etc: Elsevier, 665-677
- Kirjavainen, V.M. (1989). Application of a Probability Model for the Entrainment of Hydrophilic Particles in Froth Flotation. *Int.J.Minor. Process.*, 27, 63-74.
- Kirjavainen, V.M. (1992). Mathematical model for the entrainment hydrophilic particles in froth flotation. *Int.J.Minor. Process.*, 35, 1-11.
- Kirjavainen, V.M. (1996). Review and analysis of factors controlling the mechanical flotation of gangue minerals. *International Journal of Mineral Processing*, 46(1-2): 21-34.
- Konopacka, Z. & Drzymala J. (2010). Types of particles recovery-water recovery entrainment plots useful in flotation research, *Adsorption*, 16: 313-320.
- Kracht, W., Orozco, Y. & Acuña, C. (2016). Effect of surfactant type on the entrainment factor and selectivity of flotation at laboratory scale. *Minerals Engineering* 92, 216-220.
- Kurşun, H. (2003). Talkın Kolon Flotasyonu ile Zenginleştirilmesinde Parametrelerin İncelenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi*, Turkey, 147.
- Kurşun, H. (2014). Effect of fine particles' entrainment on conventional and column flotation. *Particulate Science and Technology*, 32 (3) 251-256.
- Kurşun, H. (2017). The influence of frother types and concentrations on fine particles entrainment using column flotation. *Separation Science and Technology*, 52(4), 722-731
- Maksimov, I.I., Borkin, A.D. & Emelyanov, M.F. (1991). The Use of Column Flotation Machines for Cleaning Operations in Concentrating Non-Ferrous Ores. *XVII. International Mineral Processing Congress Dresden /FRG*.
- Mathieu G.I. (1972). Comparison flotation column with conventional flotation of a molybdenum ore. *CIM Bulletin*, 65, 41- 45
- Melo, F. & Laskowski, J.S. (2007). Effect of frothers and solid particles on the rate of water transfer to froth. *Int. J. Miner. Process.* 84, 33-40.
- Narasimhan, K. S., Rao, S. B. & Choudhury, G. S., (1972). Column Flotation Improves Graphite Recovery. *Eng. Min. J.*, 173(5), 84-85.
- Rahal, K., Manlaping, E. & Franzidis, J.P. (2001). Effect of frother type and concentration on the water recovery and entrainment recovery relationship. *Miner. Metall. Process.* 18, 138-141.
- Sastry K.V. & Fuerstenau D.W. (1972). Ballability index to quantify agglomerate growth by green pelletization. *Journal of Petroleum Technology*, 252(3), 254-258
- Savassi, O.N., Alexander, J.P., Franzidis, J.-P. & Manlapig, E.V., (1998). An empirical model for entrainment in industrial flotation plants. *Minerals Engineering*, 11(3), 243-256.
- Wang, L., Peng, Y. & Runge, K. (2016). Entrainment in froth flotation: the degree of entrainment and its contributing factors. *Powder Technol.* 288, 202-21.
- Wang, L., Peng, Y. & Runge, K. (2017). The mechanism responsible for the effect of frothers on the degree of entrainment in laboratory batch flotation. *Minerals Engineering*, 100, 124-131.
- Wheeler D. A. (1966). Big flotation column mill tested. *Eng. Min. J.*, 167 (11), 98-99.
- Wiese, J. & Harris, P. (2012). The effect of frother type and dosage on flotation performance in the



presence of high depressant concentrations. *Miner. Eng.* 36–38, 204–210.

Yianatos, J.B., Contreras, F., Díaz, F. & Villanueva, A., (2009). Direct measurement of entrainment in large flotation cells. *Powder Technology*, 189, 42-47.

Yianatos, J. & Contreras F. (2010). Particle entrainment model for industrial cells. *Powder Technology*, 197, 260–267.

Zheng, X., Franzidis, J.P., Johnson, N. W. & Manlapig, E. V. (2005a). Modelling of entrainment in industrial flotation cells: The effect of solids suspension. *Minerals Engineering*, 18, 51–58.

Zheng, X., Franzidis, J.P. & Johnson, N.W. (2005b). An evaluation of different models of water recovery in flotation. *Minerals Engineering*, 19, 871–882.

Zheng, X., Johnson, N.W. & Franzidis, J.-P. (2006). Modelling of entrainment in industrial Flotation cells: Water recovery and degree of entrainment. *Minerals Engineering*, 19, 1191-1203.