

FLOTASYON MODELLERİNDE PARAMETRE TEKRARLANABİLİRLİĞİ

PARAMETER REPRODUCIBILITY IN KINETIC MODELS OF FLOTATION

Ö. Y. GÜLSOY

Yard. Doç. Dr., Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Beytepe, Ankara

S. ERSAYIN

Doç. Dr., Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Beytepe, Ankara

ÖZET: Flotasyon sistemlerini tanımlamak ve kontrol edebilmek için farklı modeller geliştirilmiştir. Bazı modellerin deneysel verilere uyumları çok yüksek olmasına karşın, model parametrelerinin tekrarlanabilirliği çok düşük olabilmektedir. Bunun nedeni flotasyon sistemlerinin karmaşık yapısı ve ölçümlerin zayıf olmasıdır. Bu nedenle, kinetik modellerin sadece uyumlarının yükseltilmesi malzemelerin yüzeyibilirliklerini doğru tanımlamak için yeterli değildir. Bu çalışmada, dört farklı kinetik model kullanılarak tekrarlı deneyler için deneysel verilere uyumları ve model parametrelerinin tekrarlanabilirlikleri incelenmiştir. Ayrıca, flotasyon başlangıç anındaki sapmaların ortadan kaldırılması amacıyla bir kinetik modele zaman düzeltmesi parametresi ilave edilerek uyum ve tekrarlanabilirlik üzerindeki etkisi incelenmiştir.

ABSTRACT: Several types of flotation models are developed to define and control the flotation systems. Although the model fit of some of these models are excellent, the reproducibility of model parameters is in comparatively low. This is due to the complexity of the systems and the difficulties of the measurements on flotation. Therefore improvement of the model fit is not only enough to make a correct definition of the floatability. In this study, model fit of different four models and the reproducibility of their parameters were investigated by using the data obtained from repeated tests. The effect of zero time correction on the parameter reproducibility and model fit of one of the model was also studied.

1. GİRİŞ

Modeller, otomatik kontrol sistemlerinin çalıştırılmasının yanında flotasyon süreçlerinin iyileştirilmesinde kullanılabilecek araçlardır. Kurulan modeller yalnızca sürecin ben/elişimi için değil, sürecin analizi için de kullanılabilirler. Basit olarak, modeller, sistem değişkenlerinin etkisinin önceden belirlenmesi amacıyla kurulmuş olan matematiksel eşitlikler olarak da tanımlanabilirler. Flotasyonda, iç faz etkileşiminin ve bir çok değişkenin iç etkileşiminin söz konusu olması nedeni ile temel matematik ve fizik eşitliklerinin kullanılması çok zordur. Sistemin karmaşık doğası nedeniyle, birçok flotasyon modelinin varsayımlara dayalı zayıf bir yönü mevcuttur. Mutlaka imlikle, iç faz etkileşim (silteçlek) fiziksel ve kimyasal etkiler

modelin kullanımına bağlı olarak model içinde ihmal edilebilmektedir. Çünkü, çok fazla delay içeren ya da fiziksel ve kimyasal açılardan fazla derecede vurgulanmış modeller değişkenlerin değerleri Jirilmesi ve kullanım açısından çok karmaşık olabilmektedirler.

Günümüze kadar çeşitli yaklaşımlar kullanılarak bu çok flotasyon modeli geliştirilmiştir Lynch et al. (1981) geliştirilmiş olan bu modelleri analitik modellerin dışında, *atı/ırlık modeller* (Aulker (1966), Smith and Lewis (196Q), Pitt (1968)), *ohd.\llık modeller*; (Gaudin, Sehuliman ve Schlechten (1942), l'omlinson and flcniing (1961), Kclsall (1961)), *kinetik modeller* (Alııter ve lLuti'. (196?). Hains ve Chakravarti (1970), l'oved.iy

(1966), Morris (1952), Arbiter (1951)) olmak üzere üç gruba ayırmıştır.

Günümüze kadar geliştirilmiş olan bir çok flotasyon modeli Woodburn (1970), Jowett et al (1971) ve Lynch et al (1981), Dowling et al (1985), Fichera ve Chudacek (1992), gibi bir çok araştırmacı tarafından yapıları ve tahmin güçleri açısından incelenmiştir. Analitik modellerin bilimsel temeli doğru olmasına rağmen, model parametrelerinin çokluğu ve doğru tahmin edilmelerindeki zorluklar nedeniyle pratikte kullanılmaları hemen imkansız olmaktadır. Bunun aksine, ampirik modellerdeki parametreler flotasyonda bağımlı ve bağımsız değişkenlerin doğrudan gözlenmesi ile elde edilir. Bu tür modellerde optimizasyon deneme yanılma yoluyla geri hesaplama şeklinde mümkün olmaktadır. Bu modeller tamamen istatistikeldir ve flotasyon mekanizması ile aralarında benzerlik ifade etmek mümkün değildir. Bu tür modellerin kullanımları, onların oluşturulmaları sırasındaki incelenen aralıkla sınırlı kalmaktadır. Ampirik modellerin en önemli avantajları zaman ve insan gücü gereksiniminin nisbeten düşük olmalarıdır.

Kinetik modeller analitik ve ampirik modellerin birleşimidir. Bu tür modellerde önce flotasyon davranımına benzeyen teorik bir eşitlik belirlenmekte veya istatistiksel bir dağılım modeli seçilmekte, daha sonra bağımsız değişkenler üzerindeki bağımlı değişkenlerin etkisi deneysel olarak saptanmaktadır. Deneysel olarak elde edilen sonuçlara seçilen modelin en iyi uyum vereceği model parametreleri istatistik teknikler kullanılarak belirlenmektedir. Buna bağlı olarak, deneysel veriler ile seçilmiş olan modelin istatistiksel uyumları ve parametrelerin fiziksel anlamları değerlendirilerek modellerin flotasyon sistemleri için uygulanabilirlikleri onlara konulmaya çalışılmaktadır. Bu tür modellerde, bağımsız değişkenlerin etkisi sadece çok sayıda parametre ile ifade edilmektedir. Aynı şekilde iç etkileşimler de bu parametreleri etkilemektedir.

Flotasyon sistemlerini daha iyi tanımlamak için bir çok benzer sistem modelleri veya istatistiksel dağılım modelleri sınanmış veya kullanılmıştır. Bu tür çalışmada, modellerin deneysel sonuçları tahmin güçleri orlaya konulmaya çalışılmıştır. Bazı modellerin mükemmel olarak deneysel verilere uyum sağlaması da mümkün olmaktadır. Bu mükemmel model uyumlarına rağmen, flotasyonun karmaşık yapısı ve kontrolün zor olması nedeniyle, tamamen malzemeye ve koşullara özgü bir parametre olarak tanımlanan ve bütünü bağımsız

değişken etkilerini ve iç etkileşimleri ifade eden flotasyon model sabitleri arasında aynı koşullarda yapılan deneylerde farklı olmaktadır. Aynı koşullarda yapılan deneylerden elde edilen farklı nedenlerle deneysel verilerin modellere olan uyumlarından çok tekrarlı deneylerden elde edilen model parametrelerinin değişmemesini sağlayacak yaklaşım veya yöntemlerin flotasyon sistemlerini daha iyi ifade edebileceğini söylemek mümkündür.

Bu çalışmada farklı model yapılarının tekrarlanabilirlik üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, flotasyon sistemleri için kullanılan ve literatürde yüksek uyum verdiği belirtilen (Dowling et al, 1985) dört farklı kinetik model kullanılarak hangi model ile daha yüksek tekrarlanabilirlik elde edilebileceği araştırılmıştır. Bu modeller kullanılarak, model uyumları ile tekrarlanabilirlik arasındaki ilişki de incelenmiştir. Bu amaçla;

$$R = R_{\infty}(1 - e^{-kt}) \quad (0)$$

geliştirilmiş katı/gaz yüzeysoğurum modeli;

$$R = R_{\infty} \left(\frac{k \cdot t}{1 + k \cdot t} \right) \quad (2)$$

Rektangülar dağılım modeli;

$$R = R_{\infty} \left(1 - \frac{1}{k \cdot t} (1 - e^{-kt}) \right) \quad (3)$$

*ve mükemmel (kırı) tırmalı reaktör modeli**

$$R = R_{\infty} \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{t}{k}} \right) \quad (4)$$

kullanılarak aynı koşullarda tekrarlanmış olan yan kesikli flotasyon testlerinden elde edilen sonuçlara en iyi uyum veren model parametreleri hesaplanmıştır.

Diğer taraftan, laboratuvarda yapılan yan kesikli flotasyon deneylerinin başlama /amanlamasının (sıfır anının) ölçülmesindeki hataların ortadan kaldırılması ve tekrarlanabilirliğin artırılabilmesi amacıyla Agar (1983) tarafından önerilen /imin düzeltilmesi rektangülar model için kullanılan İmiş (eşitlik 5) ve bu dikkatli/ellimciim model parametrelerinin (kırı/lanabilirlik) u,vnni)ek> etkisi incelenmiştir.

$$R = R_{\infty} \left(1 - \frac{1}{(1+n).k} \left(1 - e^{-(1+n).k} \right) \right) \quad (5)$$

Burada;

k: flotasyon hız sabiti

R: katı kazanımı

R_∞: uzun bir zamanda elde edilecek katı kazanımı

t: flotasyon süresi

n: Agar tarafından önerilen zaman düzeltmesi dır.

Bu çalışma için, özel kontrol sistemleri ile donatılmış bir flotasyon düzeneği kullanılmıştır. Konsantrite pirit Önceden belirlenen flotasyon koşullarında yüzdürülmüş ve her deney 5 kez tekrarlanmıştır. Her bir zaman aralığı için elde edilen konsantrilerin tane boyu dağılımları saptanarak fraksiyonel bazda katı kazanımları belirlenmiştir. Özel bir kütle denkliği programı kullanılarak katı denkleğinin sağlanmasını takiben yukarıdaki modeller kullanılarak model parametreleri hesaplanmıştır.

Tekrarlı deneylerden elde edilen model parametrelerinin tekrarlanabilirliğini belirlemek amacıyla;

$$V = \left(\frac{s}{M} \right) \times 100 \quad (6)$$

eşitliği ile tanımlanan değişim katsayıları baz alınmıştır.

Burada;

s: standart sapma

M : aritmetik ortalama

Sonuçlar, modellerin deneysel verilere uyumları, parametrelerin hesaplanması için kullanılan non-lineer regresyon yöntemi kullanılırken otomatik olarak hesaplanan regresyon katsayıları (r) açısından da değerlendirilmiştir.

2. MALZEME VE DENEYSEL YÖNTEM

Deneyler, Denver laboratuvar flotasyon makinasında yapılmıştır. Hücre içine yerleştirilen otomatik palp seviye kontrol, hava miktarı ölçme ve düzenli konsantrite toplama sistemleri kullanılarak, deney koşulları mümkün olduğu kadar kontrol altında tutulmuştur. Palp seviyesi kontrolü,

hücreye daldırılan içi su dolu bir cam çubuğun ucuna bağlı lastik balonun manometre görevi görerek, palp seviyesindeki iniş ve çıkışlara paralel bir şekilde cam çubuktaki su seviyesinin yükselmesi alçalması temeline dayalı bir düzeneğe sağlanmıştır. Optik bir sistem seviyeyi sürekli takip etmekle ve seviye düştüğünde bir pompayı çalıştırarak hücre içindeki koşullara uygun reaktif içeren su dolu rezervuardan sağladığı su ile başlangıç seviyesine ulaşmasını sağlamaktadır. Benzer bir palp seviyesi kontrolü Dell et al (1967) tarafından geliştirilmiş olan Leeds hücresi düzeneğinde de kullanılmaktadır. Sisteme hava girişinin sabit ve istenilen düzeylerde tutulabilmesi için hava girişi bir kompresör kullanılarak yapılmıştır. Giriş borusu bir akış ölçerle bağlanmış ve hücreye beslenen havanın sürekli sabit tutulması temin edilmiştir. Hücre üzerinden köpük sıyırma işleminin sabit koşullar altında yapılmasını sağlayabilmek amacıyla iki adet köpük sıyırma elemanı kullanılmıştır.

Deneylerde hidrofobik malzeme olarak kullanılmak üzere Etibank Küre Bakırlı Pirit İşletmesinden alınan pirit konsantrisi 90 µm'luk elekten elenerek elek altı fraksiyonu deney numunesi olarak kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan konsantrite piritin boyut dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Pirit konsantrisi boyut dağılımı

Tane Boyu	% Eleke Üstü
+63µm	18.26
-63+32 µm	34.26
-32+20 µm	17.55
-20+11 µm	14.73
-11 µm	15.20
Toplam	100.00

Deneyler yapılan bu kaç ön deneyden sonra çıkılarak belirlenen (ipli mu m verimim s'iglandiju deney koşullarında gerçekleştirilmiştir. Deney ientr loplayıcı olarak polistireni amil ksantal, kopolistireni olarak polipropilen glikol kullanılmıştır. Deney koşulları Tablo 2'ek sunulmuştur.

Tablo 2. Flotasyon deney koşulları

Koşullar	Sınama deÜeri
Ağırlıkça % Katı Miktarı	35
Palp Hacmi	211
Toplayıcı (KAX) dozajı	70 g/l
Köpüncü (PPGF) dozajı	101 g/t
H	5.5
Karıştırma Hızı	
Koşullandırma	1700dev/dak
Flotasyon	1500dev/dak
Koşullandırma Süresi	10 dakika
Hava Miktarı	6.5 Jt/dak

Koşullandırma işleminden sonra hava açılarak flotasyon işlemine başlanmıştır. Havanın açılma anı sıfır zamanı kabul edilmiş ve 15, 30, 60, 105, 165, 285, 525 sn aralıklarında konsantreler ayrı kablarda toplanmıştır. Her bir konsantr ve artık kurutularak tartılmış ve tane boyu dağılımları belirlenmiştir.

3. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Her bir zaman aralığında elde edilen ürünlerin ve artığın tane boyu dağılımları belirlendikten sonra besleme boyut dağılımı da kullanılarak Özel bir kütle denkliği programı yardımı ile lane boyu bazındaki kütle denklileri kurulmuştur. Bu değerler kullanılarak fraksiyonel bazda katı kazanımlar hesaplanmıştır.

Tekrarlı deneyler arasındaki farkın kontrolü amacıyla hem fraksiyonel olarak hem de toplam bazda, ikişerli gruplar halinde tekrarlı deneylere uygulanabilen t-testi (paired two sample for means) yapılmıştır. Buna göre tekrarlı deneylerden elde edilen katı kütlesinin, farklı halde birbirleri ile kıyaslandığında anlamlı farkın önemli olduğu istatistiksel olarak konulmuştur. Liu dimini hem fraksiyonel bazda tane boyu toplam bazda gözlenmiştir.

Tekrarlı deneylerden elde edilen kazanım değerleri kullanılarak doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile S Lark11 modelinin model parametreleri ve modelin deneysel verilere uyumunu (regresyon katsayısı) belirlenmiştir.

KegrciVon katsayılarının modellerin deneysel UTICII (ahunu güçlerini Nif güslergisi olmasına kailin, aynı koşullarda yapılan deneyinden elde edilen model parametresinin birbine yakın olması da gerçek anlamda modelin güvenli olmayı koymaktadır. Bu amaçla tekrarlanabilirlik, değişim katsayısı (Eşitlik 6) olarak kazanımın istatistiksel fiili büyüklük kullanılarak belirlenmiştir.

İler bir model kullanılarak elde edilen model parametreleri için değişim katsayıları bulunmuştur. Fraksiyone) ve toplam bazda elde edilen değişim katsayıları Tablo 4' de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, zaman düzeltmesi kullanılmadığında birinci dereceden kinetik model ile rektangüler dağılım modelinin diğer iki modele göre deneysel verilere daha yüksek uyum verdiğini göstermiştir. Fakat sıfır zamanı düzeltmesi yapılan modelde model uyumu hem fraksiyonel bazda hem de toplam bazda bütün modellere göre daha yüksek olmaktadır. Rektangüler dağılım modeli ise birinci dereceden kinetik model ile elde edilen uyum değerlerine yakın model uyumları vermiş fakat birinci dereceden kinetik modelin deneysel verilere sağlamış olduğu uyuma oranla daha düşük uyum elde edilmesine neden olmuştur. Bununla birlikte Rektangüler dağılım modeli ile diğer modellere göre daha yüksek model uyumlarının elde edilebileceğinin belirlendiği çalışmalarda mevcuttur (Dowling et al 1985).

Ayrıca model parametre sayısındaki artışın modellerin deneysel verilere uyumunu artırdığı da bilinmektedir (Apling and Ersayın, 1986). Zaman düzeltmesi olarak belirtilen düzeltme gerçek anlamda model içine ilave - bir parametrenin eklenmesidir. Diğer bir deyişle model içindeki parametre sayısı artmıştır. Model parametre sayısının artması da model uyumunu artırmıştır. Fakat model parametrelerinin tekrarlanabilirliğinde uyuma bağlı bir artış gözlenmemektedir. Bu durumda, modellerin deneysel verilere sağlamış olduğu yüksek uyumun yanında, aynı koşullarda yapılan deney tekrarlarının kullanılması ile de aynı model parametrelerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle ampirik ve yan ampirik modellerin Rotasyondaki tahmin güçlen incelenirken, modellerin deneysel verilere uyumlarının iyileştirilmesi ve tekrarlanabilirliğini de artırılması, malzemelerin tekrarlanabilirliğini gerçek anlamda karakterize edilmesinde mümkün olacaktır.

İlmi tane boyu hareketleri, model parametresinin tekrarlanabilirliği (tekrarlanabilirlik) belirlendiğinde, binini delmeden kinetik modelin her bir tane boyu fraksiyonel bazında daha tekrarlanabilirliğini parametrelerinin ekle edilmesini sağladığı belirlenmiştir.

Tablo 4. Model parametreleri değişim katsayıları ve modellerin deneysel verilere uyumları

Tane Boyu	E ¹ Hlık (1)		Erillik (2)		Eşitlik (3)		Eşillik (4)		Erillik (5)	
	V<k)	r	V(k)	r	V(k)	r	<V)k	i	(V)k	r
+63 um	33.51	0.980	33.R7	0.970	35.76	0.941	45.64	0.941	45.87	0.982
-63+32jım	15.85	0.990	15.67	0.964	17.1)5	0.899	17.99	0.899	17.40	0.992
-32+20^1	12.06	0.990	11.88	0.965	12.99	0.919	13.43	0.919	11.97	0.996
-20+11 _m	11.73	0.988	13.28	0.988	15.08	0.963	15.26	0.963	15.12	0.998
-II Mım	12.51	0.982	13.42	0.991	15.29	0.97K	16.51	0.978	18.15	0.997
<u>Toplamı</u>	<u>13.34</u>	<u>0.990</u>	<u>12.50</u>	<u>0.976</u>	<u>11.87</u>	<u>0.944</u>	<u>13.44</u>	<u>0.944</u>	<u>15.83</u>	<u>0.998</u>

Toplam bazda ise tekrarlanabil iri için katı/gaz adsorbsiyon modelinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Fakat elde edilmiş olan değişim katsayılarının yüksek olması, kullanılan modellerin hiç birinin tekrarlanabilir sonuçların elde edilmesi için yeterli olmadığını ortaya koymaktadır.

4. TARTIŞMA

Laboratuvarda yapılan flotasyon deneylerinde deney düzeneği ve kontrol sistemlerinin artırılmasına rağmen aynı koşullarda yapılan deney tekrarları arasında küçük de olsa farklar oluşmaktadır. Bu durum istatistiksel olarak da ortaya konulmuştur. Tekrarlı deneylerden elde edilen sonuçlar arasındaki farklar kinetik model parametrelerinin malzemeye özgü tek bir sayısal değerle tanımlanmasını zorlaştırmaktadır.

Model parametrelerinin tekrarlanabilirliğinin artırılması model yapısının değiştirilmesi ile de mümkün olmamaktadır, diğer taraftan farklı ampirik modellerin kullanımı da ancak deneysel verilere yüksek uyumların elde edilmesini sağlamaktadır. Katı/gaz adsorbsiyon modeli ve reaktör modeli olarak tanımlanan modeller incelendiğinde model uyumlarının {r} aynı olmasına karşın tekrarlanabilirimin değiştii görülmektedir.

Bütün bu değerlendirmelerin ışığı altında, tekrarlı deneyler arasındaki kontrol dışı sapmaların model parametrelerinin tekrarlanabil iri için önemli ölçüde etkilediğini belirtmek mümkündür. Deneysel zorluklardan kaynaklanan bu olayın özellikle laboratuvarda yapılan yarı kesikli flotasyon deneylerinin başlangıç anlarındaki sapmalardan kaynaklandığının kabul edilmesi ve buna göre bu zaman düzeltmesi yapılması durumunda da model uyumunda önemli bir artış sağlanmasına karşın, tekrarlanabilirlikte artış sağlanamamaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kinetik bazlı flotasyon modellerinin model uyumları ile model parametrelerinin (hız sabiti) tekrarlanabilirliği arasında bir ilişki belirlenmemiştir. Model yapısındaki değişikliklere bağlı olarak model uyumunda artış sağlanabilmekte fakat, tekrarlanabilirliklerde önemli düze/meler olmamaktadır. Bunun nedeni, model yapılarının yetersizliği değil, sistemin karmaşık yapısı ve ölçümlerin zorluğundan kaynaklanan deney tekrarları arasındaki sapmalardır.

Sonuç olarak, tekrarlı flotasyon deneylerinden elde edilen verilerin özellikle başlangıç zamanlarındaki ölçümlerin yeterli duyarlılıkta olmaması ve sistemin karmaşık yapısından dolayı, uygun bir zaman düzeltmesi ile düzenlendikten sonra değerlendirilmesi gerekli olduğu düşünülmektedir. Bu zaman düzeltmesi model içerisine eklenen ilave parametrelerin kullanılması ile de mümkün olmamaktadır. Bu şekilde yapılacak olan zaman düzeltmesine bağlı olarak deneysel verilere yüksek uyum veren bir model kullanılarak yzdzürülen malzemeye özgü tekrarlanabilir yüzebilirlik parametrelerinin tanımlanması mümkün olacaktır.

Bu nedenle, flotasyon davranmalarını incelemek ve flotasyon özelliklerini doğru olarak tanımlamak amacıyla sadece modellerin yapısı ile oynamak yerine flotasyon deneylerinde deney tekrarlarındaki sapmaların ortadan kaldırılabilmesi ve daha hasas ölçümlüm yapılması için gerekli yöntemlerin belirlenmesi zorunludur.

Tekrarlı flotasyon deneylerinden elde edilen sonuçları arasındaki sapmaların duyarlılıklarını ve buna bağlı olarak model parametreleri için daha yüksek tekrarlanabilirlik sağlamak amacıyla, bu sonuçların ilave olarak ilave bağlı

değişken olarak Ölçülmesi daha kolay olan su kazanımının kullanılabilceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Arbiter, N. and Harris, C.C., (1962), Flotation Kinetics. *Froth Flotation*, 50^h Anniversary Volume, D.W. Fuerstenau, ed. Chapter 8, AIME, New York, NY, pp. 215-246
- Arbiter, N. (1951), Flotation Rates and Flotation Efficiency, *Trans AIME*, Vol. 190, pp.791-r*o.
- Agar, G.E. and Barrett, J.J., (1983), The use of flotation rate data to evaluate reagents, *CIM Bulletin*, No:851, pp:157-162
- Apling A.C., Ersaym S., (1986), The reproducibility of semi batch flotation test work and derived kinetic parameters when using the Leeds Open Top Cell. *Trans. IMM*, C83-C88.
- Dell, C.C.; Bunyard, M.J., (1967), Development of an automatic flotation cell for laboratory., *Trans. Inst. Min. Metall.*, 81: C246-C248.
- Dowling, E.C., Kumpel R.R. and Apian F.F., (1985), Model discrimination the flotation of a porphyry coper ore. *Minerals and Metallurgical Processing*, May, pp:87-101
- Faulkner, B.P. (1966), Complete control improves metallurgy at Tennessee Copper's flotation plant, *Mining Engineering*, Vol. 18, No. 1 I, pp 53-57.
- Fichera M.A. and Chudacek M.W., (1992), Batch cell flotation models-a review. *Minerals Engineering*, 5:41-55
- Gaudm, A.M., Schuhmami, R. and Schlechten, .W., (1942), Flotation Kinetics II. The effect of size on the behavioi of galena particles, *J. Phys. Chem.*, Vol. 64, pp. 902-910
- Harris, G.H. and Chakravarti, A., (1970), Semi-batch flotation kinetics II: Species distribution analysis. *Trans. AIME Wo*. 247, pp. 162-172
- Jowett, A.. (1966) Gangue Mineral Contamination of Froth. *fir. Chan En^ng*. Vnl:2 No.5, pp. U0-.U3.
- Kelsall, D.F., (1961), Application of probability assessment of flotation systems. *Trans. IMM*, Vol. 70, pp. 191-204.
- Loveday, B.K., (1966), Analysis of froth flotation kinetics. *Trans. IMM*, Vol. 75, pp.219-226
- Lynch A.J., Johnson N.W., Manlaphing E.V., Thorne C.G., (1981), *Mineral and coal flotation circuits-their simulation and control*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam
- Morris, T.M., (1952), Measurement and evaluation of the rate of flotation as a function of particle size, *Trans AIME*, Vol. 193, pp.794-798
- Pitt, J.C. (1968), The development of systems for continuoos optimal control of flotation plants by computer. System Dynamics and Automatic Control in Basic Industries, *I.F.A.C. Symposium*, Sydney, pp. 165-171.
- Smith, H.W. and Lewis, C.L. (1969), Computer control experiments at Lake Dufault, *Can. IMM Bull.*, Vol. 62, No. 682, pp. 109-115.
- Tomlinson, H.S., and Fleming, M.G., (1965), Flotation rate studies, *Proc. sixth Int. Min~Process. Congress*, Cannes 1963, A. Roberts, ed., Pergamon, Oxford, pp.563-579
- Woodburn E.T. and Loveday B.K., (1965), Effect of variable residence time on the performance of a flotation system. *J. Sth Afr. Inst. Min. Met.*. 65:612-628