

Flotasyonda Kalma Süresi ve Besleme Tane Boyunun Verim Üzerine Etkisinin Simülasyonu İncelenmesi

N.M. Can , Ö.Y. Gülsoy , Z. Ekmekçi, Ş.L.Ergün & H. Benzer
Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET: Bir flotasyon hücresinde durma zamanı ve yüzen ürünün flotasyon hız sabiti bilirse verim hesabı yapmak mümkün olmaktadır. Böylece üretilecek ürünün verimi üzerinde hız sabitini değiştirmeyen işlem değişkenlerinin etkisi incelenebilir.

Bu çalışmada kinetik model kullanılarak bir flotasyon bankında durma zamanı ve besleme tane boyu değişiminin verim üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, Çayeli Bakır işletmeleri flotasyon tesisi bakır kaba-süpürme bankı ve çinko kaba bankından alınan veriler kullanılmıştır. Çalışmada her bankın beslemesi ve ürünlerinden alınan numuneler tane boyu fraksiyonlarına ayrılmıştır. Numune alma işlemi sırasında besleme akış hızları (t/h), konsantr ve artığın katı içerikleri ölçülmüştür. Ayrılan fraksiyonların Cu, Zn ve Fe analizleri yapılmıştır. Besleme akış hızı ve kimyasal analizler kullanılarak bir kütle denkliliği programı yardımıyla her bank için kütle denkliliği yapılmış, besleme, konsantr ve alık akış hızları hesaplanmıştır. Kütle denkliliğinden sonra katı içerikleri kullanılarak hacimsel akış hızları hesaplanmıştır. Her fraksiyon için verim (<R) ve bankta kalma süreleri kullanılarak fraksiyonel bazda flotasyon hız sabitleri (X) belirlenmiştir. Böylece durma süresi ve besleme tane boyu değiştirildiğinde flotasyon bankındaki verim değişimi incelenmiştir.

Çalışma sonunda yüksek verim elde edilmesi için gerekli bank hacmi ve buna bağlı olarak bir banktaki hücre sayısı ve yüksek verim için flotasyon besleme tane boyu hakkında değerlendirme yapılmıştır.

ABSTRACT : Recovery can be calculated by using flotation rate constant and retention time in a flotation cell. Hence, it is possible to investigate the effect of operational parameters, which don't change the rate constant, on recovery.

In this study, the effect of retention time and feed fineness on recovery was investigated in a flotation bank by using a kinetic flotation model. For this purpose, data obtained from Cu-rougher, scavenger and Zn Rougher banks of flotation plant of Çayeli Bakır İşletmeleri was used. During sampling survey, samples were taken from the froth and tail of each bank, and sieved. Feed rate (t/h) and solids contents of concentrates and tails were measured in the survey. Then Cu, Zn and Fe contents of each fraction were assayed. Feed, concentrate and tail flow rates were calculated using chemical composition of each fraction by a mass balance software. Then, volumetric flow rates also calculated using solids content of samples. Flotation rate parameters of each size fraction were calculated from the kinetic model. Hence, it was possible to investigate the effects of feed rate and feed fineness on the recovery.

At the end of the study, it was possible to evaluate the total bank volume and required cell number in each bank and feed fineness for high recovery.

I. GİRİŞ

Flotasyon devrelerinde basit kinetik modeller kullanılarak işlem değişkenlerinin etkisi tahmin edilebilir. Bu amaçla mevcut bir flotasyon bankından numuneler alınır, bu numuneler kullanılarak fraksiyonel bazda yüzen malzemenin kinetik davranımı belirlenir.

Bir flotasyon bankında her bir hücrenin köpüğünden ve artık akışından numune alınarak kimyasal analizleri yapılırsa, bank boyunca araştırılan her bir türün verimi hesaplanabilir. Eğer hücre bazında veriler mevcut değilse flotasyon bankı besleme, konsantr ve artığından alınacak veriler kullanılarak da bu tür bir çalışma yürütülebilir. Bu şekilde

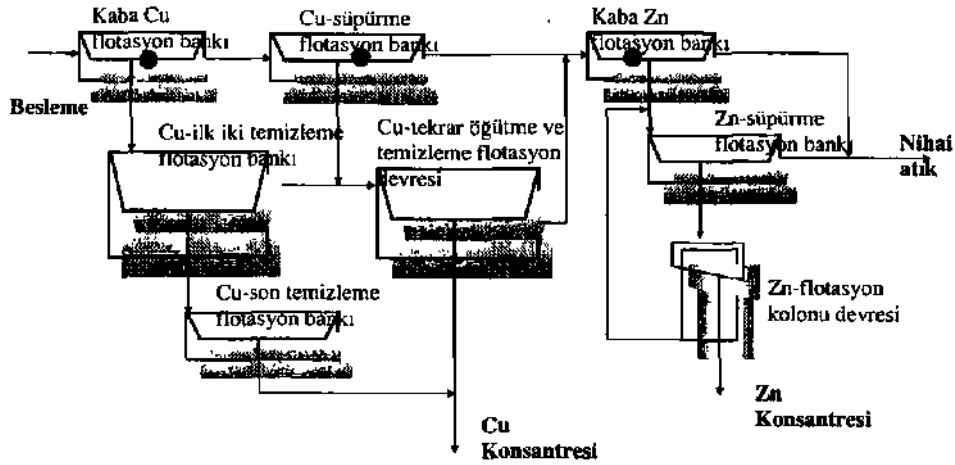
incelenen bankda verim kullanılarak flotasyon hız sabiti (k) belirlenebilir. Böylece, denge durumunda yapılacak olan bu tür bir hesaplama ile incelenen bank için yüzdürülen malzemenin yüzme davranımı ortaya konulmuş olmaktadır. Bunun sonunda, kullanılan kimyasal dosajı, hava hızı, pervane devri vb. gibi flotasyon davranımını etkileyen işlem değişkenleri sabit kalmak koşuluyla, durma süresini (X) etkileyen bank hacmi veya gerekli hücre sayısı, yada besleme akış hızı gibi değişkenlerin verim (R) üzerine olan etkisi incenebilir. Aynı şekilde flotasyon davranımı tane boyu bazında onaya konulacağı için besleme malzemesi boyut dağılımında meydana gelebilecek değişikliklerin verim üzerindeki etkisi de ortaya konulabilir (Bull, 1965).

Bu çalışmada, Çayeli Bakır işletmeleri flotasyon tesisi bakır kaba-süpürme bankı ve çinko kaba bankında kinetik modelleme yapılmış, Cu ve Zn için

fraksiyonel bazda flotasyon hızları sabitleri belirlenmiştir. Fraksiyonel bazda bulunan bu hız sabiti değerleri kullanılarak durma zamanı ve besleme iane boyu bu banklardaki Cu ve Zn verimleri üzerine etkisi incelenmiştir. Böylece, besleme tonajı ve öğütme inceliğinin optimize edilebileceği bir araç ortaya konulmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışma Çayeli Bakır işletmeleri flotasyon tesisi kaba bakır-bakır süpürme ve kaba çinko bankı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sırasında modelleme yapılan tesis akım şeması Şekil 1'de görüldüğü gibi işletilmektedir. Çalışmanın yürütüldüğü sırada devrede işlenmekte olan ve SpecOre olarak tanımlanan cevher özellikleri Çizgece 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Modelleme Yapılan Flotasyon Devresi ve Modellenen Flotasyon Bankları (siyah yuvarlaklarla işaretlenen banklar)

Devrede bazı birimler birden çok flotasyon bankı veya öğütme birimleri içermektedir. Bu nedenle bu kısımlar şematik gösterimde tek bir sembol ile ifade edilmiştir. Bu tür birimlerde bir modelleme çalışması yürütülmemiştir. Şekil üzerinde siyah noktalarla işaretlenmiş olan semboller modelleme yapılmış olan flotasyon banklarını ifade etmektedir.

Kaba Cu flotasyon bankı 3 adet 16 m³'lük Outokumpu flotasyon hücresinden, Cu süpürme bankı ise 4 adet 16 m³'lük Outokumpu flotasyon hücresinden oluşmaktadır. Kaba Zn flotasyon bankında ise 3 adet 38 m³'lük Outokumpu flotasyon hücresi bulunmaktadır.

Çizelge 1. Flotasyon Devresi Beslemesi

Size (fım)	Cu devresi beslemesi				Zn devresi beslemesi			
	% Wt	% Cu	% Zn	% Fe	% Wt	% Cu	% Zn	% Fe
+50	18.36	5.48	5.41	34.4	19.53	2.28	5.82	34.5
-50+36	12.96	4.04	4.01	40.5	11.38	0.97	3.89	40.3
-36+20	24.46	3.70	3.25	41.0	24.04	0.64	3.46	42.6
-20+9	19.74	4.85	4.51	38.1	22.79	0.46	4.38	39.8
-9	24.48	5.51	4.56	31.5	22.26	0.87	4.48	33.2
Toplam	100.00	4.74	4.31	36.83	100.00	1.01	4.41	38.03
Besleme tonajı	147.83 t/h				126.81 t/h			

Devrede modelleme çalışmasını yürütmek amacıyla öncelikle incelenen her bir bankın besleme, köpük ve artığından numuneler alınmıştır. Numuneler bu noktalara tesisteki rutin kontrol işlemleri için yerleştirilmiş bulunan otomatik numune alma düzeneklerinden alınmıştır. Alınan numuneler yaş ve kuru olarak tartılmıştır. Böylece her bir numunenin ağırlıkça katı içerikleri belirlenmiştir. Daha sonra numuneler 50 ve 36 mikronluk eleklerden yaş olarak elenmiş, -36 mikron fraksiyonu ise eyelosizer ile sınıflandırılmıştır. Fraksiyonların kimyasal analizleri yapılarak her bir fraksiyonun Cu, Zn ve Fe içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen tane boyu dağılımı ve palp katı içeriği değerleri kullanılarak bir kütle denkliği programı yardımı ile kütle denkliği yapıp, besleme miktarına bağlı olarak her bir köpük ve artık akışı için akış hızları hesaplanmıştır. Aynı kütle denkliği programı yardımı ile su denkliği de kurularak her bir koldaki hacimsel akış hızları da hesaplanmıştır.

2. MODELLEME ÇALIŞMALARI

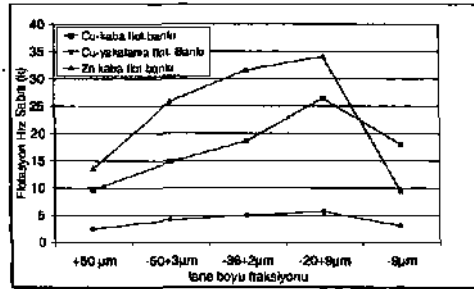
Çalışmanın bu bölümünde tesisten toplanmış olan veriler kullanılarak fraksiyonel bazda yüzme hızları belirlenmiştir. Bu amaçla sürekli sistemlerde yzdzürülen malzemelerin kinetik davranımını tanımlamak amacıyla kullanılan aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Arbiter & Harris, 1962):

$$R_i = \frac{k_i A}{1 + k_i A}$$

Burada; R, i boylu fraksiyon için verim,
k, i boylu fraksiyon için flotasyon hız sabiti,
X durma süresidir.

İnceleme yapılan flotasyon bankında her bir tane boyu fraksiyonu için Cu ve Zn verimi kimyasal analizler ve akış hızları kullanılarak hesaplanmıştır.

Yine aynı banklar için ölçülmüş olan hacimsel akış hızları ve toplam bank hacmi verileri kullanılarak flotasyona giren malzemenin flotasyon bankındaki kalış süresi hesaplanmıştır. Kalış süresi hesaplamalarında her bir bankın hacimsel alık akış verileri kullanılmıştır. Her bir fraksiyonun Cu ve Zn verimi ile fraksiyonun bank içinde kalış süreleri bilindiği için yukardaki eşitlik kullanılarak fraksiyonel bazda flotasyon hız sabiti değerleri hesaplanabilmektedir. Hesaplama yapılan tüm banklarda flotasyon hız sabitinin tane boyu ile değişimi Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Kaba Cu ve Süpürme Banklarında Flotasyon Hız Sabiti (k)-Tane Boyu İlişkisi

Şekil incelendiğinde Cu için flotasyon hız sabitinin özellikle 50 mikrondan iri boyda en düşük olduğu görülmektedir. Tane boyu incelidikçe hız sabitinin değeri de artmaktadır. Beklendiği gibi çok ince tane boyunda hız yeniden azalmaktadır. Çünkü, incelenen tane boyunda çarpışma ve yapışma etkinliğinin azalması gibi parametrelerin flotasyon hızını düşürdüğü bilinmektedir. Süpürme devresinde flotasyon hızı kaba devredekinden oldukça düşük olmaktadır. Kaba devrede hızlı yüzenler gelmekle ve flotasyon hızı da buna bağlı olarak yüksek olmaktadır. Süpürme devresinde ise yavaş yüzen taneler yakalanmakta ve bu banktaki yavaş yüzmenin bir göstergesi olarak düşük flotasyon hız sabiti değerleri ölçülmektedir. Zn için de bu durum

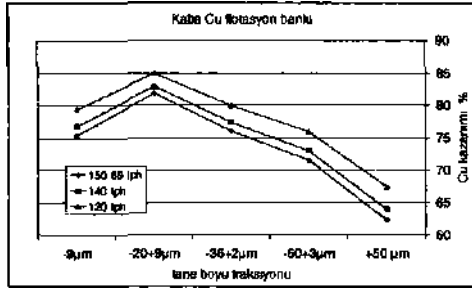
benzer davranım göstermektedir. Çok iri ve çok ince tanelerin flotasyon hızları ara boylara oranla düşük olmaktadır.

Modellemeden elde edilen veriler kullanılarak tane boyu fraksiyonu bazında inceleme yapılan banklar üzerinde kalma süresini etkileyen kapasite, bank girişindeki tane boyu dağılımı gibi parametrelerin ayırım performansı üzerine etkisi incelenebilir. Bu nedenle simülasyon çalışmalarına başlanmıştır.

3. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

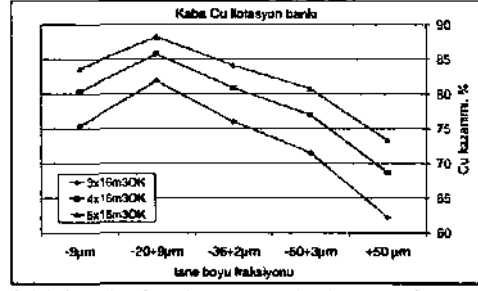
3.1. Kaba Cu Flotasyon Bankı

Belirlenmiş olan flotasyon hız sabiti değerleri kullanılarak besleme miktarı ve her bank için besleme iane boyunun etkisi model kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Kaba Cu bankı verileri kullanılarak yapılan simülasyon çalışmasında besleme akış hızının etkisi tesise yapılabilecek en yüksek besleme değerine yakın bir değer seçilerek incelenmiştir. Besleme miktarı öğütme devresinin işleyebileceği en yüksek değer göz önüne alınarak belirlenmiştir. Buna göre besleme miktarının etkisi Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. Kaba Cu Flotasyon Bankında Besleme Tonajının Cu Kazanımına Etkisi

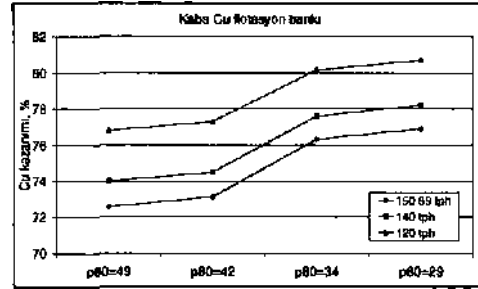
Şekil incelendiğinde besleme miktarı 120 t/h'den 150.69 t/h değerine artırıldığında Cu kazanımında fraksiyonel bazda %10'a varan azalmanın olduğu görülmektedir. Bu durumda durma süresinin artırılması ile meydana gelen bu verim kaybının önlenilebileceğini göstermek amacıyla Cu-kaba flotasyon bankında bulunan hücre sayısı artırılmıştır. 150.69 t/h besleme için yapılan bu incelemede elde edilen sonuçlar Şekil 4'de verilmektedir.



Şekil 4. Kaba Cu Flotasyon Bankında Hücre Sayısının Cu Kazanımına Etkisi

Şekil incelendiğinde durma süresinin artmasını sağlayan ilave hücre ile kaba Cu flotasyon bankında besleme tonajındaki artış ile meydana gelen Cu verim düşüşünün önlenilebileceği görülmektedir.

Aynı devrede besleme inceleği değiştirilerek Cu kazanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla öğütme devresi üzerinde daha önce yapılmış olan modelleme ve simülasyon çalışmasından elde edilen veriler kullanılmıştır. Böylece devreye hayali bir boyut dağılı beslenerek gerçekte mümkün olmayacak bir durum üzerinden değerlendirme yapılmasından kaçınılmıştır. Öğütme devresi sınırları göz önüne alınarak hazırlanmış olan yeni besleme boyut dağılımlarının etkisi Şekil 5'de verilmektedir.



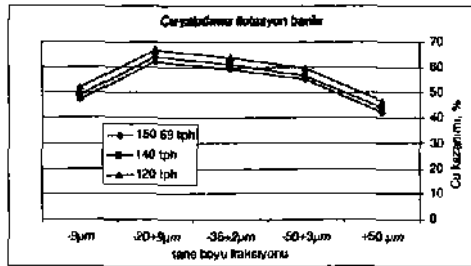
Şekil 5. Kaba Cu Flotasyon Bankında Besleme İnceliğinin Cu Kazanımına Etkisi

Şekil incelendiğinde besleme p80 boyu 49 mikrondan 29 mikrona indirildiğinde kaba flotasyon bankındaki toplam bakır kazanımında %5-6 gibi önemli artışlar meydana gelmektedir. Bu durum düşük ve yüksek kapasitede benzer şekilde gerçekleşmektedir.

3.2. Cu-Süpürme Flotasyon Bankı

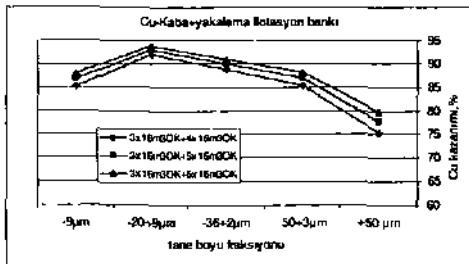
Kaba devre üzerinde yürütülmüş olan modelleme çalışması süpürme bankı üzerinde de yürütülmüştür. Süpürme bankı üzerinde besleme miktarının etkisi

incelenirken, kaba devre beslemesindeki artış sonunda süpürme devresine gidecek tonaj değerleri hesaplanmış ve simülasyonda kullanılmıştır. Bu durumda süpürme bankı girdisine göre akış hızının Cu kazanımı üzerine etkisi Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Cu-Süpürme Flotasyon Bankında Besleme Tonajının Cu Kazanımına Etkisi

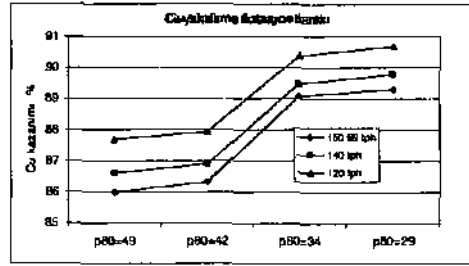
Süpürme bankında da kaba banktakine benzer olarak en yüksek flotasyon hızı -20+9 mikron fraksiyonunda olmaktadır. Bu bölümde fraksiyonel Cu kazanımı %40 ile %70 arasındadır. Bu değer süpürme bankına giren Cu miktarı üzerinden hesaplanmıştır. Bu nedenle bu bankta yüzme işleminin daha zor olduğunu açık olarak söylemek mimkindür. Orjinal beslemeye göre hesaplandığında ise fraksiyonel bazda %12 ile %16 arasında değişim göstermektedir. Kaba ve süpürme devresi birlikte göz önüne alındığında ise fraksiyonel bazda Cu kazanımı Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 7. Cu-Kaba+Süpürme Flotasyon Bankında Hücre Sayısının Cu Kazanımına Etkisi

Süpürme devresinde besleme tane boyunun etkisi incelenirken kaba+süpürme devresi tek bir bank olarak ele alınmış ve flotasyon hız sabiti bu iki bankın toplamı için fraksiyonel bazda yeniden belirlenmiştir. Her iki bankın toplamı için hesaplanan bu sabitler kullanılarak flotasyon devresi besleme tane boyu değişiminin kaba+süpürme devresi üzerinde Cu kazanımını nasıl etkilediği

araştırılmıştır. Flotasyon devresi besleme tane boyu değişimine bağlı olarak kaba+süpürme devresindeki Cu kazanımı Şekil 8'de verilmektedir.

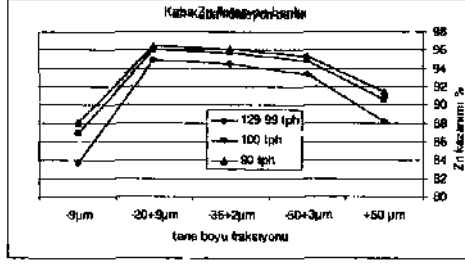


Şekil 8. Besleme İnceliğinin Kaba+Süpürme Devresindeki Cu Kazanımına Üzerine Etkisi

Şekil 8'den de açık olarak görüldüğü gibi flotasyon devresi besleme tane boyundaki artışla kaba+süpürme devresinde Cu kazanımında önemli miktarda artış sağlanabileceği anlaşılmaktadır.

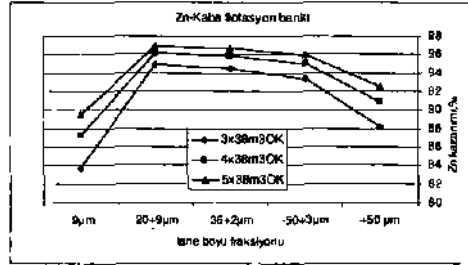
3.3. Kaba Zn Flotasyon Bankı

Modelleme çalışması ile kaba Zn flotasyon bankı için fraksiyonel bazda elde edilmiş olan flotasyon hız sabitleri kullanılarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu bölümde bankın beslemesini oluşturan Cu-devresi artışına ait veriler kullanılmıştır. Besleme miktarı ve tane boyundaki değişimlerin etkisi incelenirken, öncelikle Cu-kaba devresine yapılabilecek besleme ile ilgili sınır değerler göz önüne alınmıştır. Böylece Cu devresine yapılan besleme sonunda devreden çıkacak ve Zn devresi beslemesini oluşturacak akışın kaba Zn flotasyon bankı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Cu devresine 150.69 t/h besleme yapıldığında Zn devresine 129.99 t/h katı gelmekte Cu devresine 120 t/h besleme yapıldığında ise Zn devresine 90 t/h katı gelmektedir. Kaba Zn bankı bu aralıkta incelenmiştir. Kaba Zn flotasyon bankı besleme miktarındaki değişimin Zn verimi üzerindeki etkisi Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 9. Kaba Zn Flotasyon Bankında Besleme Tonajının Zn Kazanımına Etkisi

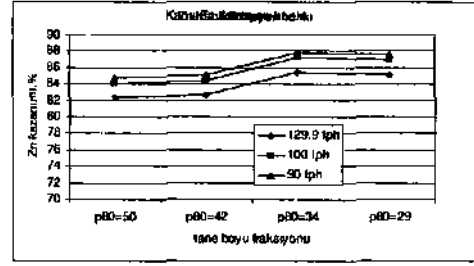
Beklendiği gibi banka yapılan besleme miktarı arttığında Zn verimi düşmektedir. Özellikle -9 mikron fraksiyonu için flotasyon son derece düşük olup en yüksek flotasyon verimi -20+9 mikron tane boyu fraksiyonunda elde edilmiştir. Şekil 9 İncelendiğinde de banka yapılan besleme tonajı arttıkça verimin düştüğü açık olarak görülmektedir. Yüksek tonajları tolere edebilmesi amacıyla banka ek hücre yerleştirilmesinin Zn verimine etkisi yine simülasyonla incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 10'da verilmektedir.



Şekil 10. Kaba Zn Rotasyon Bankında Hücre Sayısının Zn Kazanımına Etkisi

Şekil incelendiğinde kapasitedeki artışın toplam hücre hacmindeki artış ile tolere edilebileceği görülmektedir.

Aynı bank üzerinde besleme tane boyu değişimi de incelenmiştir. Bu amaçla flotasyon devresi beslemesi tane boyu, öğütme devresinin izin verdiği sınırlar içinde değiştirilmiş, ve bu değişikliğin sonunda Cu devresi artışının boyut dağılımının ne şekilde olacağı yine simülasyon yoluyla belirlenmiştir. Buna göre de değişen Zn devresi besleme tane boyunun kaba Zn bankında Zn kazanımına etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 11'de verilmektedir.



Şekil 11. Kaba Zn Flotasyon Bankında Besleme İnceleneğinin Zn Kazanımına Etkisi

Şekil incelendiğinde kaba flotasyon bankı beslemesi incelendiğinde banktaki toplam Zn kazanımının %4 oranında artırılabilir olduğu görülmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışma, bir flotasyon devresinde modelleme yoluyla besleme miktarı, ve besleme tane boyunun flotasyonda kazanımı üzerine etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Özellikle tesis ölçeğinde yapılmış olan böyle bir çalışma ile herhangi bir türün yüzmeye davtamamı belirlenirse bu verilerin bir devrede kontrol amaçlı kullanılabilir olduğu ortaya konulmuştur.

İnceleme yapılan devrede -9 mikron ve +50 mikron boyut fraksiyonları için hem Cu flotasyon hızı hem de Zn flotasyon hızının önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Böylece +50 mikron boyut fraksiyonunun azaltılması amacıyla öğütme İnceleneği kontrol edilebilir. Fakat bu aşamada -9 mikron fraksiyonundaki artış da göz önüne alınmalıdır.

İnceleme yapılan aralıkta, kapasite artışına bağlı olarak meydana gelebilecek verim kayıplarının toplam bank hacmi artırılarak giderilebileceği belirlenmiştir. Bu da banka ilave hücre eklenmesi ile mümkün olabilir. Ayrıca, besleme tane boyunun artırılması ile verimde artışın meydana gelebileceği belirlenmiştir. Böylece besleme tane boyu değiştirilerek kapasitede artış sağlamak da mümkün olmaktadır.

5. ACKNOWLEDGMENT

Authors would like to thank to Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş. for technical and financial support during the study and permission for publication.

KAYNAKLAR

- Arbiter, N., & Harris, C.C. (1962), Flotation Kinetics, in Froth Flotation 50th Anniv.Vol. (*né.* D.W. Furstenau). pp.215-246 (Amer. Ins. Min.Met. Engrs.: New York)
- Bull. W.R., (1965), Flotation Kinetics, and Application to the Interpretation of Plant Performance and The Design of Treatment Circuits, Flotation Kinetics and Treatment Circuit Design., p 1113

