

# FLOTASYON DENEYLERİNDE İSTATİKSEL YÖNTEMLERİN UYGULANMASI

**Gülhan ÖZBAYOÖLU (\*)**  
**Birol BAŞARAN (\*\*)**

## ÖZET

Ana gang minerali kalsit olan bantlı barit cevheri üzerinde flotasyon deneyleri yürütülmüştür. Deneylerde sodyum oleat kolektör, sodyum silikat ve quebracho bastına ve sodyum karbonat da pH ayarlayıcısı olarak kullanılmıştır. Bu çalışmalarda optimum flotasyon koşullarının saptanması için birer istatistik yol olan Yates Tekniği ve Simpleks Tasarımı yöntemlerine başvurulmuştur. Optimum koşullarda elde edilen kaba konsantre iki defa temizlenmiş ve % 95.88 tenörlü ve % 76.29 randımanlı bir konsantre elde edilmiştir.

## ABSTRACT

Flotation method was applied to the banded barite ore containing calcite as a major gangue mineral. Sodium oleate was used as a collector, sodium silicate and quebracho as depressants and sodium carbonate as pH regulator in flotation tests. In order to obtain optimum conditions, «Yates technique» and «simplex design» statistical methods were applied in the flotation studies. Then, the product obtained from the optimum conditions in the rougher flotation, was cleaned twice and a clean concentrate was produced with 95.88 %  $BaSO_4$  content and 76.29 % recovery.

(\*) Doç. Dr. ODTÜ, Maden Müh. Böl., ANKARA  
(\*\*) Araştırma Gör., ODTÜ, Maden Müh. Böl., ANKARA.

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Bu çalışma ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarlarında yapılmış olup, Beyşehir bantlı barit cevherinin flotasyonu sırasında uygulanmıştır. Bantlı cevher deyimi, içinde bantlar halinde kalsit minerali bulunan barit yatakları için kullanılmıştır. Numunenin kimyasal analizi şöyledir : BaO % 54,50; S<sub>0</sub> % 30,05; SiO<sub>2</sub> % 1,90; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % 1,20; SrO % 1,90; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % 0,45, CaO % 3,25; Ateş Kaybı % 6,20. Bu analizlerden bantlı barit cevherindeki BaSO<sub>4</sub> oranı % 82,95 olarak bulunmuştur.

Numunenin gravite ile zenginleştirme çalışmalarına ek olarak yapılan bu çalışmada flotasyonun alternatif bir yöntem olup olmayacağı araştırılmıştır. Ekonomik düşünceden öte teknik olabirliğinin amaçlandığı çalışmada ana hedef sondaj çamurunda kullanılabilir nitelikte % 92'lik BaSO<sub>4</sub> konsantresinin elde edilmesi olmuştur.

Flotasyon çalışmalarının başarıya ulaşması uygun parametrelerin seçimine ve bu parametrelerin optimizasyonuna bağlıdır. Bunun için çok sayıda deneyin yürütülmesi gerekmektedir. Bir faktöryal dizayn yöntemi olan Yates tekniği deney sayısını en az düzeye indirmekte ve sonuca kısa zamanda ulaşılmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada önce Yates tekniği uygulanmış ve efektif olarak görülen iki parametre alınarak simpleks dizayn tasarımı ile optimum noktanın eldesine gidilmiştir.

## 2. FLOTASYON DİZAYNI VE ÇALIŞMALARI

İlk önce literatür araştırmalarına ve ön çalışmalara dayanarak uygun parametrelerin seçimi araştırılmıştır. Göz önünde bulundurulacak faktörler öğütme zamanı, pH, reaktif tipleri ve miktarı, koşullandırma ve flotasyon zamanlarıdır.

Bütün deneyler 250 gr. numune üzerinden yapılmıştır. Pülp yoğunluğu, öğütmede % 66 ve flotasyonda % 25 olarak sabit tutulmuştur. pH barit flotasyonunda dar bir aralıkta etkin olması nedeniyle sabit tutulan diğer bir parametredir, ön çalışmalarda literatüre uyularak 8 ile 10 arasında denenen pH sonuçta 9 olarak kabul edilmiş ve bütün deneylerde aynı tutulmuştur (1). pH ayarı için de NaOH ve Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> denenmiş ve suyun sertliğini de gidermesi göz önünde tutularak Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>'ta karar kılınmıştır.

Bastırıcılarda ana gang mineral olan kalsit için sitrik asit ve quebracho denenmiş ve quebracho'nun daha etkili olduğu gözlenmiştir. NaaSiOs'da silikatları bastırmak amacıyla kullanılmıştır. Sodyum oleat ise kollektör olarak kullanılmış ve iyi sonuç alınmıştır. Aynı zamanda köpürtücü özelliğe sahip olması, köpürtücü kullanılmasına gerek bırakmamıştır. Optimum koşullandırma zamanları ise bastırıcılar için iki, kollektör için üç dakika olarak saptanmış; flotasyon zamanı da iki dakika olarak belirlenmiştir.

ön çalışmalarda en etkin görünen dört parametre ile bunların alt ve üst seviyeleri saptanmış, çalışmalar bunlar üzerinde yoğunlaştırılmıştır.

2<sup>n</sup> faktöryal dizayn 2<sup>n</sup> kadar deney sayısı gerektirdiğinden bunları özel bir notasyonla göstermek gerekmektedir (2). Çizelge l'deki Yates düzenlemesi bu amaca yöneliktir.

**Çizelge 1 — 2\* için Yates Düzenlemesi**

Faktörler : A.B.C.D		A	B	C	D
	Yates Kodu				
1 —	<b>d)</b>	L	L	L	L
2 —	a	H	L	L	L
3 —	b	L	H	L	L
4 —	ab	H	H	L	L
5 —	c	L	L	H	L
6 —	ac	H	L	H	L
7 —	bc	L	H	H	L
8 —	abc	H	H	H	L
9 —	d	L	L	L	H
10 —	ad	H	L	L	H
11 —	bd	L	H	L	H
12 -	abd	H	H	L	H
13 —	cd	L	L	H	H
14 —	acd	H	L	H	H
15 —	bed	L	H	H	H
16 —	abcd	H	H	H	H

L (Low) : Alt Seviye  
H (High) : üst Seviye

Seçilen parametreler ile alt ve üst sınırları aşağıda verilmiştir.

	Alt sınır	Üst sınır
A — öğütme zamanı	5 dak	7 dak.
B — Kollektor	50 cc	100 cc
C — Bastına (quebracho)	250 g/ton	1000 g/ton
D — Bastına ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )	250 g/ton	1250 g/ton

(Not : 82 cc Kollektor 1 kg/ton'a eşdeğerdir.)

Sabit tutulan parametreler ise şunlardır;

pH	9.0
Bastırıcılar için koşullandırma zamanı :	2 dakika
Kollektor için koşullandırma zamanı :	3 dakika
Flotasyon zamanı :	2 dakika
öğütmedeki pülp yoğunluğu :	% 66
Flotasyondaki pülp yoğunluğu :	% 25

Sonuçların duyarlılığını arttırmak için, geliş igüzellik çizelgesinin (random table) yardımı ile deneyler rasgele bir sırada yapılmıştır. Deneylerin yapılma sırası aşağıda verilmiştir.

1 — b	5 — abcd	9 — d	13 — abd
2 — abc	6 — a	10 — ad	14 — bd
3 _ (1)	7 — ac	11 — c	15 — acd
4 _ cd	8 — ab	12 — be	16 — bed

Bundan sonra deneysel hesaplamalarda «Yates tekniği» uygulanmıştır. Bu teknik yalnız  $2^n$  faktöryal dizaynın ana etkilerine ve birbirleriyle etkileşimlerini tahmin etmek için kullanılan sistematik bir yöntemdir (Çizelge 2).

**Çizelge 2 — Yates Sırasında Deney Sonuçları**

Yates Kodu	öğütme Zamanı (dak.)	Sodyum Oleat (cc)	Quebracho (g/ton)	Sodyum Silikat (g/ton)	Sonuç (%BaSO <sub>4</sub> )
(i)	5	50	250	250	88.36
a	7	- 50	250	250	86.13
b	5	100	250	250	87.07
ab	7	100	250	250	87.21
c	5	50	1250	250	87.92
ac	7	50	1250	250	87.75
bc	5	100	1250	250	86.92
abc	7	100	1250	250	87.42
d	5	50	250	1000	88.11
ad	7	50	250	1000	87.71
bd	5	100	250	1000	87.19
abd	7	100	250	1000	86.73
cd	5	50	1250	1000	89.36
acd	7	50	1250	1000	89.40
bed	5	100	1250	1000	87.32
abcd	7	100	1250	1000	87.16

Çizelge 3 için hesaplama üzerine notlar :

— Kolon (3) te önce çiftler sırasıyla toplanır ve kolonun yarısı bu toplama işaretleriyle devam eder. Diğer yarısı ise çiftteki alt sayının üstekinden çıkarılmasıyla tamamlanır. (4), (5) ve (6) no'lu kolonlar da bu şekilde hesaplanır.

— Deneysel hatanın hesaplanması (Se<sup>2</sup>)

Deneysel hatanın hesaplanması için «merkez noktası tekrarlı» yöntemine başvurulmuş ve merkez noktasında 3 deney yapılmıştır.

Merkez noktasının seviyeleri şunlardır :

- A : 6 dakika
- B : 75 cc
- C : 750 g/ton
- D : 625 g/ton

Çizelge 3 — Deney Sonuçları ve Yates Analizi

(1) Yates düzeni	(2) Deney sonucu	(3) Kolon	(4) Kolon	(5) Kolon	(6) Kolon	(7) (6)²/2 <sup>n</sup>	(8) Serbes. derecesi	(9)		(11) Sonuç
								F. Hesap. (7) / (8) . S²	F-Çizelge (1, 2, 0.05)	
(1)	88.36	174.49	348.77	698.78	1401.76					
a	88.16	174.28	350.01	702.98	-2.74	0.47	1	7.83	18.51	ED
b	87.07	175.67	349.74	-1.76	-7.72	3.72	1	62.00	»	E
ab	87.21	174.34	353.24	-0.98	2.78	0.48	1	8.00	»	ED
c	87.92	175.82	-2.09	-1.54	4.74	1.40	1	23.33	»	E
ac	87.75	173.92	0.33	-6.18	3.16	0.62	1	10.33	»	ED
bc	86.92	178.76	-0.86	3.04	-3.50	0.77	1	12.83	»	ED
abc	87.42	174.48	-0.12	-0.26	-1.84	0.21	1	3.50	»	ED
d	88.11	-2.23	-0.21	1.24	4.20	1.10	1	18.33	»	ED
ad	87.71	0.14	-1.33	3.50	0.78	0.04	1	0.67	»	ED
bd	87.19	-0.17	-1.90	2.42	-4.64	1.35	1	22.50	»	E
abd	86.73	0.50	-4.28	0.74	-3.30	0.68	1	11.33	»	ED
cd	89.36	-0.40	2.37	-1.12	2.26	0.32	1	5.33	»	ED
acd	89.40	-0.46	0.67	-2.38	-1.68	0.18	1	3.00	»	ED
bcd	87.32	0.04	-0.06	-1.70	-1.26	0.10	1	1.67	»	ED
abcd	87.16	-0.16	-0.20	-0.14	1.56	0.06	1	1.00	»	ED
		Kolon toplamı :	1394.08	1396.64	1394.56		15			
		Alternatif toplam :	698.32	697.28	-1.28					

E : Etkin  
ED : Etkin değil

ve sonuçlar ise;

1 — % 87.74 BaSO<sub>4</sub>

2 — % 87.72 »

3 — % 87.32 »

$$(87.74 + 87.72 + 87.32) / 3 = 87.54$$

$$Se^2 = [ (87.74 - 87.54)^2 + (87.72 - 87.54)^2 + (87.32 - 87.54)^2 ] / 2 = 0.06$$

$$Se^2 = 0.06$$

— ANOVA (Varyans Analizi) Çizelge 3'teki gibi yapılır.

— Herhangi bir F (m<sub>1</sub>, m<sub>2</sub>) çizelgesinden F (1,2) ve a = 0.05 için değeri bulunur (18.51).

— Sonuçların sınanması

— Bütün kolonlar toplanır.

— Bu kolonların alternatiflerinin toplamı bulunur.

— Alternatiflerinin toplamı, bunu izleyen kolon toplamının yarısı olmalıdır.

— Hata analizi

Testlerde varyansın deneysel hataya etkisi şöyle verilir ;

$$\text{Varyansa bağlı etki} = \frac{4 Se^2}{2^n} = \frac{4 (0.06)}{2^4} = 0.02$$

— Model

Yates tekniği ile ANOVA'nın birleştirilmesiyle f (X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, ... X<sub>n</sub>) fonksiyonu, az bir çaba ile bulunabilir. ANOVA uygulamanın nedeni kararları ve dolayısı ile modeli basitleştirmesidir (2).

Değişkenleri aşağıda görüldüğü gibi kodlamanın uygun olduğu gözlenmiştir.

$$X = \frac{(\text{Değişkenin sınama değeri}) - (\text{Değişkenin standart değeri})}{[\text{Düşük (yüksek) değerle standart değerinin farkı}]}$$

Kodlanmış değişkenler :

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{(\text{öğütme zamanı, dakika}) - (6)}{1} \\ X_2 &= \frac{(\text{Kollektor, ce}) - (75)}{25} \\ X_3 &= \frac{(\text{Quebracho, g/ton}) - (750)}{500} \\ X_4 &= \frac{(\text{Sodyum silikat, g/ton}) - (625)}{375} \end{aligned}$$

### 3. MODEL

$$y = 87.61 - 0.48 X_2 + 0.30 X_3 - 0.29 X_2 X_4 + 0.02$$

Burada X'ler kodlanmış değerlerdir. Fonksiyondaki katsayılar (6) inci kolondaki değerlerin toplam deney sayısına (2\*) bölünmesi ile bulunur.

$$\text{örneğin; } X_2 = B = \frac{7.72}{16} = -0.48$$

Burada dikkat edilecek nokta bulunan modelin yalnız çalışılan bölge için geçerli olmasıdır. Bu yüzden ekstrapolasyon yapılmamalıdır

Tüm bunların ışığında Çizelge 3 incelenirse, öğütme zamanının ( $X_1$  kodu), gerek temel etkilerin gerekse iç etkileşimlerinin önemsiz olduğu görülür. Bir diğer deyişle, incelenen sınırlar içinde öğütme zamanındaki herhangi bir değişme,  $BaSO_4$  yüzdesi üzerinde etkin bir değişikliğe neden olamamaktadır. Benzer şekilde bastına olarak kullanılan sodyum silikat da temel etkilerde önemsiz görünmüş, yalnız ikili bir iç etkileşimde ( $X_2 X_1$ ) etkin görünmüştür. Model ayrıca quebracho eklenmesinin pozitif etkisini açık-



ya göstermiştir. Aynı düşünce ile ( $X_2CO$  iç etkileşimi dışında sodyum oleat miktarının azaltılmasının,  $BaSO_4$  yüzdesine olumlu etki edeceği gözlenmiştir.

Böylece en etkin temel etkiler olarak gözlemlenen ( $-0.48$ ) sabiti ile kollektör ve ( $+ 0.30$ ) sabiti ile quebracho alınarak diğer bir optimizasyon yöntemi olan simpleks tasarımında daha detaylı olarak incelenmiştir. .

Simpleks tasarımı doğrudan bir yaklaşım olup, basitliği yönünden kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Bu tasarımın modeli ( $n + 1$ ) noktası olan ( $n$ ) polihedronudur- örneğin 2 boyutlu bir tasarımın modeli bir üçgendir (iki bağımsız değişken). Bir simpleks, eğer dikkatlice incelenirse, yeni bir simpleksin atılan herhangi bir köşeden tam karşı yöndeki izdüşümünden oluştuğu görülür (2).

Simpleks tasarımının planlanması :

— önemli iki bağımsız değişkenin faktöryal deney tasarımından saptanması ;

- 1 — Kollektör (sodyum oleat), cc
- 2 — Bastına (quebracho), g/ton

Deneylerdeki diğer sabit parametreler:

öğütme zamanı	:	6 dakika
Bastına ( $Na_2SiO_3$ )	:	1000 g/ton
pH ( $Na_2CO_3$ ile)	:	9.0
Flotasyon zamanı	:	2 dakika
Bastırıcılar için koşullandırma zamanı	:	2 dakika
Kollektör için koşullandırma zamanı	:	3 dakika
öğütmede pülp yoğunluğu	:	%66
Flotasyonda pülp yoğunluğu	:	% 25

Başlangıç konumlarına karar verip deneylerin yapılması;

Başlangıç noktaları	Kollektör, cc	Quebracho, g/ton
1	40	1500
2	60	1500
3	50	2000

— En düşük yanıtımı atıp yeni konumun hesaplanması;

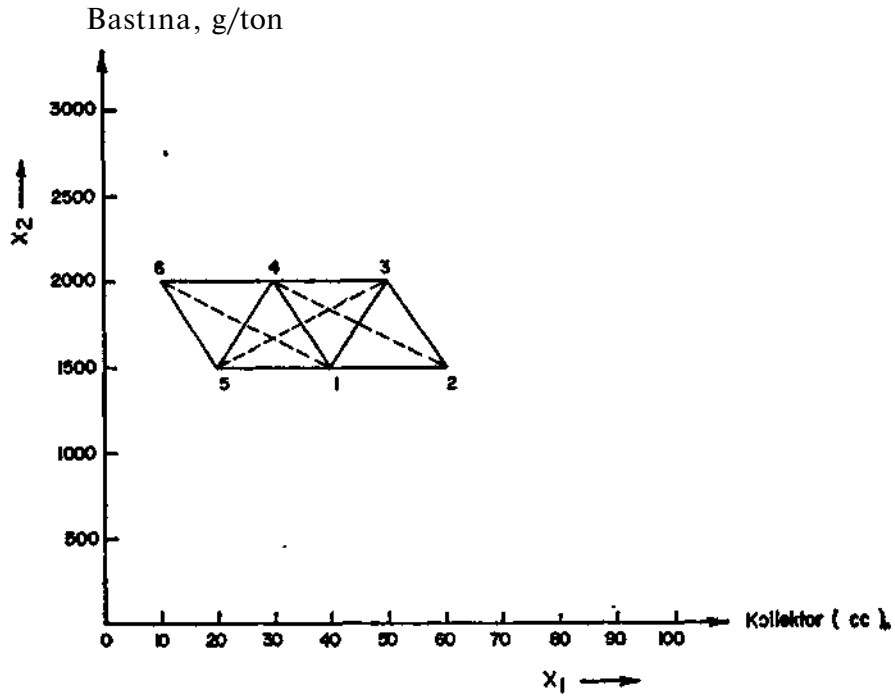
$$X_{yeni} = \frac{2}{n} \Sigma (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_{j-1}) - X_j$$

Burada n bağımsız değişken sayısı ve X<sub>j</sub> atılan en düşük yanıtıdır.

— Yukarıda hesaplanan konumda bir deneyin yapılması;

— Bu işlemlere simpleksler belirli bir konum etrafında dönünceye, yani bir optimuma erişinceye kadar devam edilmesi.

A — Problemin grafiksel gösterilmesi;



Şekil 1. Simpleks tasarımının gösterilmesi

B — Deneysel sonuçlar;

Köşe	$X_1$	$X_2$	Randıman, %	Tenor, %
1	40	1500	92.05	90.29
2	60	1500	96.11	87.57 -> en düşük yanıtım
3	50	2000	91.93	89.32

Görüldüğü gibi Köşe 2 en düşük yanıtımı vermiştir ve bu nedenle atılmalıdır. Köşe 2'nin 1-3 doğrusu üzerindeki izdüşümü Köşe 4'ü oluşturur. Yeni konunun koordinatları ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$X_1 = \frac{2}{2} (40 + 50) - 60 = 30$$

$$X_2 = \frac{2}{2} (1500 + 2000) - 1500 = 2000$$

Buradan da yeni deney,

$$X_1 = 30 \text{ cc}$$

$$X_2 = 2000 \text{ g/ton} \quad \text{noktalarında yapılır.}$$

Bu noktada yapılan deney % 91.98 tenor ve % 65.20 randıman vermiştir. Bu durumda üçgenin köşeleri 1,3 ve 4'tür. En düşük köşe ise Köşe 3'tür. Köşe 3'ün 1-4 doğrusu üzerindeki izdüşümü Köşe 5'i verir.

Köşe 5'in koordinatları ise;

$$X_1 = \frac{2}{2} (40 + 30) - 50 = 20 \text{ cc}$$

$$X_2 = \frac{2}{2} (1500 + 2000) - 2000 = 1500 \text{ g/ton}$$

şeklinde. Bu noktada ise % 90.99 tenor ve % 27.64 randıman elde edilmiştir. Son durumda üçgen 1-4 ve 5 noktalarıdır. En düşük

yanıtım olan Köşe 1'in 4-5 doğrusu üzerindeki izdüşümü Köşe 6'yı verir. Köşe 6'nın koordinatları ise;

$$X_1 = \frac{2}{2} (30 + 20) - 40 = 10 \text{ cc}$$

$$X_2 = \frac{2}{2} (2000 + 1500) - 1500 = 2000 \text{ g/ton}$$

noktalarıdır. Buradaki deney sonuçları ise % 90.16 tenor ve % 20.87 randımandır. Şimdi üçgen 4 - 5 ve 6 noktalarıdır.

En düşük yanıtım Köşe 6'dır ve bu noktanın izdüşümü Köşe 7 olarak bize Köşe 1'i verir. Bu yüzden deneyler burada kesilmiş ve randıman gözönünde bulundurularak, Köşe 4 ve 5'in daha yüksek tenöre sahip olmasına karşılık «Köşe 1» optimum nokta olarak kabul edilmiştir. Simpleks tasarımın bir özeti Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4 —Simpleks Tasarımı Deneylerinin özetlenmesi

Köşe	Kollektor cc	Bastına g/ton	Tenor %	Randıman %
1	40	1500	90.29	92.05
2	60	1500	87.57	96.11
3	50	2000	89.32	91.93
4	30	2000	91.98	65.20
5	20	1500	90.99	27.64
6	10	2000	90.16	20.87

Kaba flotasyonda optimum noktanın saptanmasından sonra tenörde % 92'yi aşmak amacıyla kaba konsantre temizleme aşamalarından geçirilmiştir. Aynı kaba konsantre ile 3 değişik temizleme basamağı denenmiştir. Birincide bastına kullanılmış kollektör kullanılmamış, ikincisinde kollektör kullanılmış bastına kullanılmamış ve son olarakda ne bastına ne de kollektör kullanılmıştır (Çizelge 5).

Kaba flotasyonun koşulları :

öğütme zamanı	: 6 dakika
Sodyum silikat	: <b>1000</b> g/ton
Quebracho	: <b>1500</b> g/ton
Sodyum oleat	: 40 cc
<b>pH</b> ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ile)	: <b>9.0</b>
Bastırıcılar için koşullandırma zamanı	: 2 dakika
Kollektor için koşullandırma zamanı	: 3 dakika
Flotasyon zamanı	: <b>2</b> dakika

#### Çizelge 5 — Kaba ve Temizleme Flotasyon Sonuçları

Deney 1 — Yalnızca bastırıcı eklenmesiyle

<b>Konsantre no</b>	<b>Tenor, %</b>	<b>Randıman, %</b>	<b>Z Randıman, %</b>
Konsantre	96.32	43.33	43.33
2. Temizleme artığı	93.08	13.47	56.80
1. Temizleme artığı	88.50	38.84	95.64
Artık	25.12	4.36	100.00

Deney 2 — Yalnızca kollektör eklenmesiyle

<b>Konsantre no</b>	<b>Tenor, %</b>	<b>Randıman, %</b>	<b>E Randıman, %</b>
Konsantre	94.30	72.76	72.76
2. Temizleme artığı	85.66	14.46	87.22
1. Temizleme artığı	85.90	7.87	95.09
Artık	28.28	4.91	100.00

Deney 3 — Hiçbir reaktif kullanılmadan

<b>Konsantre no</b>	<b>Tenor, %</b>	<b>Randıman, %</b>	<b>2 Randıman, %</b>
Konsantre	95.88	76.29	76.29
2. Temizleme artığı	80.54	8.54	84.83
1. Temizleme artığı	79.70	10.77	95.60
Artık	26.07	4.40	100.00

Çizelge 5'ten görüldüğü gibi Deney 3 en iyi sonucu vermiş ve Deney 1'deki % 43.33 randımana karşılık % 76.29 randıman elde edilmiştir. Tenor de % 95.88'dir.

#### 4. SONUÇ

Beyşehir barit yataklarından bantlı cevherin zenginleştirilmesi için, gravite yöntemlerine alternatif olarak yapılan flotasyon çalışmalarında, optimum noktayı bulmak için birer istatistik yol olan Yates tekniği ve Simpleks tasarımı yöntemlerine başvurulmuştur. Yates tekniği seçilen parametrelerin önemini irdelemekte kullanılmıştır. Bunun sonucunda Quebracho (bastıncı) ve sodyum oleat (kollektör) en önemli iki temel faktör olarak bulunmuş ve bu parametreler üzerinde Simpleks tasarımı ile daha ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Bu deneylerde ise % 90.29 tenor ve % 92.05 randıman ile bir konsantr elde edilmiştir. Daha sonra çeşitli bastıncı ve kollektör eklenmesi kombinasyonları ile temizleme aşamalarından geçirilen bu konsantr ile % 95.88 tenor ve % 75.29 randımana ulaşılmıştır.

Sonuç olarak flotasyon deneylerinde istatistiksel yöntemlerin kullanılmasıyla, olanaklı olan en az deneyle sonuca nasıl yaklaşılabileceği gösterilmiştir. Böylece sonuca daha kısa zamanda ve daha az masrafla ulaşılabilmektedir.

#### KAYNAKLAR

- 1 GAUDIN, A.M., «Flotation», Me Graw - Hill Book Co., N.Y. 1932.
- 2- ÖZENSOY, E., «Teknolojik ve Bilimsel Araştırmalarda Modern Deney Tasarımcılığı ve Optimizasyon Yöntemleri», MTA Enstitüsü, Eğitim Serisi No : 24, Ankara, 1982.