

**EMET BOR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ HISARCIK BARAJ ATIKLARININ  
DEĞERLENDİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Z.E. ERKAN v e A. AKAR**

**Dokuz Eylül Üniversitesi İZMİR**

**distenebru@hotmail.com, ali.akar@deu.edu.tr**

**M. SAVAŞ**

**Eti Holding A.Ş. ANKARA**

**msavas69@hotmail.com**

**ÖZET**

Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi tarafından üretilen tüvenan kolemanit cevherinin tenörü %27-29 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'tür. Tüvenan cevherin zenginleştirilmesi amacı ile 1972 yılında kurulan konsantratör tesisinde, %38-45 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü satılık konsantreler üretilirken, tesisin teknolojisi gereği -3mm malzeme atık barajına gönderilmektedir. Yeni baraj atığının tenörü ortalama %14-16 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iken, eski baraj atığının tenörü %17-24 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> arasındadır. Bu durumun ülkemiz açısından bir kayıp olduğu düşünülerek, eski barajdaki atığın yeniden değerlendirilebilirliği araştırılmıştır. Jig ve sallantılı masa deneylerinden, bir ön konsantre niteliğindeki ürün %22.31 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör ve %42.38 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimi ile elde edilmiştir. Denemeler arsenik minerallerinin de flotasyon yönteminde %3.83 As tenör ve %96.35 verim ile kazanılabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Arsenik, atık barajı, Emet, kolemanit, zenginleştirme.

**INVESTIGATION OF EVALUATION OF EMET BORON COMPANY HISARCIK  
TAILING POND**

**ABSTRACT**

The grade of the raw colemanite ore produced by Eti Boron Inc. in Emet Boron Plant is 27-29% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. The concentrator plant, constructed in 1972 to enrich the raw ore produces 38-45% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> grade concentrate and -3mm sized material is discharged to tailing pond as requirement of the plant technology. The average grade of the tailing in new tailing pond is 14-16% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, whereas that of old tailing pond rises up to the range of 17-24% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Considering this is a loss for our country, reutilization of the material filling the old tailing

pond has been studied. Experiments on jig and shaking table have shown that a concentrate product having a grade of 22.31% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, can be achieved at a recovery rate of 42.38%. The experiments have shown that arsenic minerals, too, can be achieved by the flotation technique with 3.83% As grade and with the efficiency of 96.35%.

**Key Words:** Arsenic, colemanite, Emet, Enrichment, Tailing pond.

## 1.GİRİŞ

İnsanlığın gelecekte karşılaşacağı sorunların başında nüfus artışı ve buna bağlı olarak hammadde ve enerji ihtiyacı gelir. Türkiye; gerek yeraltı gerekse yerüstü kaynakları bakımından oldukça zengindir. İleride tüm dünya ülkelerini sıkıntıya sokacak böylesi problemlerle karşılaşmamak için bu kaynaklarımızın korunması ve en rasyonel biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu noktada, atıkların tekrar ekonomiye kazandırılması zorunlu hale gelmiştir.

Atık madenciliğinin amaçları arasında; evrensel kaynakların yeniden kazanımının maksimize edilmesi, atık maddelerdeki değerli mineralin tekrar elde edilmesi ve doğal kaynakların korunması ile doğaya ve dolayısıyla insanlığa zararı olan maddelerin veya minerallerin eliminesinin sağlanmasıdır. Bu amaçlardan yola çıkılarak, Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi Hisarcık Baraj atıklarının değerlendirilebilirliği araştırılmıştır.

Dünya bor rezervinin yaklaşık %65'i Türkiye'de bulunmaktadır. Birçok endüstri dalında yaygın bir kullanım alanı bulan bor mineralleri ve türevlerinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bir bor ürünü bazı durumlarda bir başka bor ürününün yerini tutabilmesine rağmen bugün için bor ürünlerinin yerini aynı kalite ve ucuzlukta tutabilecek bir başka ikame minerali yoktur. Bu da bor ürünlerinin kullanımını artıran en önemli unsurlardan biridir.

## 2.BARAJ ATIĞININ TANITILMASI

Hisarcık konsantratör tesisinde zenginleştirme işlemleri sırasında başlıca üç noktadan atık atılmaktadır. Birincisi triyaj atığı, ikincisi -25mm. kalibreli elek atığı, üçüncüsü ise yıkama ve sınıflandırma sonucu oluşan -3mm boyutundaki baraj atığıdır. Çizelge 1'de tesisten elde edilen ürünler görülmektedir.

Genel olarak beslenen tüvenan cevherin yaklaşık olarak %35-40'i kaba atık, %15-20'si ince atıkları ihtiva etmektedir. Toplam atık tenörü %12-16 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> arasındadır. Kaba atıklar loder-kamyon sistemi ile tesis yanındaki atık tumbasına gönderilirken, ince atıklar pülp halinde serbest akış sisteminde drenaj kanalı vasıtası ile tamamen sızdırmazlığı sağlanmış ve düzenli olarak kontrolleri yapılan atık barajına gönderilmektedir (Savaş, 1994)

**Çizelge 1.** Konsantratör tesisinden elde edilen ürünler

Ürün	Yaş Tüvenana Göre %Ağ	%B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Kurtarma Randımanı
-100 + 25 mm.kons.	32.00	43.50	52.54
-25 + 3 mm.kons.	3.50	40.00	5.17
-25 + 3 mm.kons. (D.T.)	6.50	34.00	8.02
-3 + 0.2 mm.kons.	4.00	38.00	5.27
Toplam atık	54.00	16.14	29.00
Tüvenan Cevher	100.00	28.50	100.00

Eski baraj atıklarından alınan numunenin yapılan komple kimyasal analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

**B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:** % 23.40      **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:** % 5.36  
**SiO<sub>2</sub>:** % 18.90      **K<sub>2</sub>O:** % 1.10  
**CaO:** % 19.13      **Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:** % 1.20  
**MgO:** % 5.55      **Na<sub>2</sub>O:** % 0.32  
**As:** % 0.16

**Kızdırma kaybı:** %23.71

### 3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1.Numune Hazırlama

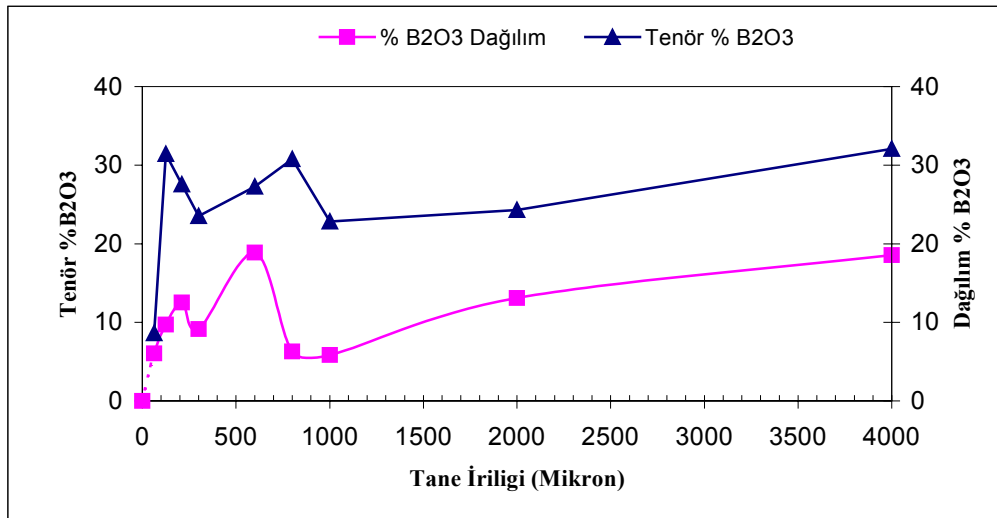
Deneyisel çalışmalarda kullanılan numune Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi Müdürlüğü, Hisarcık konsantratör tesisi eski atık barajından, numune alma şartlarına uygun olarak alınmıştır ve deneylere hazırlanmıştır.

#### 3.2.Yaş Elek Analizi

Zenginleştirme işlemlerine yol göstermesi amacı ile baraj atığının yaş elek analizi yapılmıştır. Böylece tanelerin gerçek boyutları saptanarak zenginleştirme işlemlerine tabi tutulacaktır. Yaş elemeye başlamadan önce, alınan yaklaşık 1kg'lık numune 24 saat süre ile suda bekletilmiş ve 15 dakika mekanik karıştırmadan sonra yaş eleme yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 2'de görülmektedir. Elde edilen fraksiyonlar binoküler mikroskopta incelenmiş ve baraj atığının, kolemanit, arsenik mineralleri, kil, kalsit, kalker, biotit ve demir oksitlerden oluştuğu görülmüştür. Kolemanit ve As minerallerinin serbestlik derecesi -300 mikron'dan başlayarak ince boyutlara doğru arttığı görüldüğünden, tüm malzemenin koruyucu öğütme ile 300, 200, 100, 63 mikron altı boyutlarına indirilerek yöntem olarak kuvvetli dağıtıcı ile kilin şlam fazına alınması önerilebilir.

**Çizelge 2.** Baraj atığı yaş elek analizi sonuçları.

Tane İriği(mm)	Ağırlık (%)	Tenör % B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dağılım (%)	Toplamalı E.Ü. (%)	Toplamalı E.A. (%)
+2	14.06	32.07	18.57	14.06	100.00
-2+1	13.06	24.29	13.07	27.12	85.94
-1+0.800	6.21	22.85	5.84	33.33	72.88
-0.800+0.600	4.96	30.77	6.28	38.29	66.67
-0.600+0.300	16.79	27.26	18.86	55.08	61.71
-0.300+0.212	9.42	23.51	9.12	64.50	44.92
-0.212+0.125	11.02	27.58	12.52	75.52	35.50
-0.125+0.063	7.48	31.45	9.69	83.00	24.48
-0.063	17.00	8.62	6.05	100.00	17.00
Toplam	100.00	24.28	100.00		



**Şekil 1.** Baraj atığının tane iriliğine göre %B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör - % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dağılım ilişkisi.

### 3.3.Jig ve Sallantılı Masa ile Zenginleştirme Çalışmaları

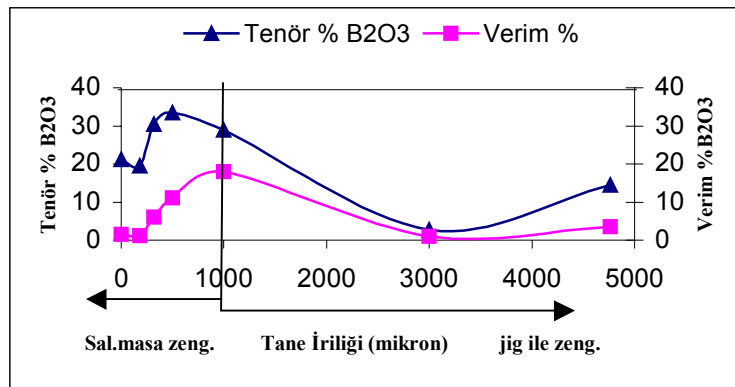
Hisarcık eski baraj atığından 5kg numune hazırlanmıştır. Daha önceki analizlerden numunelerin 10mm'nin altında olduğu saptanmıştır. Bu nedenle jig ile zenginleştirme işlemi için +4.76mm., -4.76+3mm., -3+1mm. olmak üzere üç fraksiyon alınmıştır. Kalan -1mm'lik numune ise sallantılı masa ile zenginleştirme yöntemi için saklanmıştır. Kullanılan jig, ortam olarak su ile çalışan, tek kamaralı pistonlu tip Denver jigidir.

Sallantılı masa ile zenginleştirme yönteminde kullanılmak üzere -1mm'lik kısım; -1 + 0.500mm, -0.500 + 0.315mm, -0.315 + 0.180mm, -0.180mm fraksiyonlara ayrılmıştır. Kullanılan sallantılı masada ortam sudur. Eğimi 3° olarak ayarlanmıştır. Masanın çitasız bölümünden alınan ağır olarak nitelendirilen arsenikli cevher, hemen yan tarafından alınan konsantre olarak nitelendirilen kolemanit cevheri ve diğer kısımlardan alınan ise artık olarak nitelendirilmiştir. Sonuçlar çizelge 3'de verilmiştir.

Yöntemler	Tane İriliği, mm.	Ürünler	Ağırlık (%)	BM'na göre(%Ağ)	Tenör %B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BM'na göre %B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Verim
Jig	+ 4.76	Kons.	35.78	4.19	14.41	3.49
		O.Ü.	15.26	10.79	3.50	0.36
		Artık	48.96	5.72	7.48	2.48
	- 4.76 + 3	BM	100.00	11.70	9.35	6.33
		Kons.	36.18	6.34	2.61	0.96
		O.Ü.	10.43	1.83	4.15	0.44
	- 3 + 1	Artık	53.39	9.36	9.42	5.10
		BM	100.00	17.53	6.41	6.50
		Kons.	40.50	10.74	28.89	17.96
		O.Ü.	12.62	3.35	18.93	3.67
		Artık	46.88	12.44	14.54	10.46
		BM	100.00	26.53	20.90	32.09

<b>Sallantılı Masa</b>	1 + 0.500	Ağır	19.39	3.61	17.13	3.58
		Kons.	30.96	5.77	33.37	11.14
		Artık	49.65	9.26	15.93	8.53
	-0.500+0.315	BM	100.00	18.64	21.56	23.20
		Ağır	6.66	0.81	29.84	1.40
		Kons.	28.11	3.45	30.45	6.08
		Artık	65.23	8.00	17.96	8.32
		BM	100.00	12.26	22.26	15.79
	-0.315+0.180	Ağır	10.47	0.78	18.32	0.83
		Kons.	14.93	1.12	19.43	1.26
		Artık	74.60	5.60	22.14	7.18
		BM	100.00	7.50	21.34	9.26
		-0.180	Ağır	15.25	0.89	17.65
	Kons.		20.84	1.21	21.22	1.49
	Artık		63.91	3.73	20.48	4.42
BM	100.00		5.83	20.20	6.81	
<b>SONUÇ</b>	Kons.			32.82	22.31	42.38
	Ağır			6.10	19.02	6.71
	O.Ü.			6.96	11.10	4.48
	Artık			54.10	14.85	46.43
	BM			100.00	17.28	100.00

Çizelge 3. Baraj atığının jig ve sallantılı masa ile zenginleştirme sonuçları



Şekil 2. Baraj atığının, jig ve sallantılı masa ile zenginleştirme sonucu elde edilen konsantrelerin tane iriliğine göre % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör- % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verim ilişkisi.

### 3.4. Arseniği Flotasyon Yöntemi ile Zenginleştirilme Çalışmaları

İlk denemede -200 mikron tane iriliğindeki numune 24 saat süreyle suda bekletildikten sonra 10 dk süre ile kondisyonlanarak flotasyona hazırlanmıştır.

#### Ortam koşulları;

- Tane iriliği; -200 mikron,
- 0.5 kg numune, 2 lt'lik selül,
- PH; 8-9
- Gang bastırıcı; Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> %10'luk, 900 gr/ton
- Canlandırıcı; CuSO<sub>4</sub> %1'lik, 40 gr/ton
- Toplayıcı; KAX %1'lik, 400 gr/ton  
3477, %1'lik, 100 gr/ton
- Köpürtücü; Dowfroth %0.01'lik, 100 gr/ton.
- Kondüsyonlama 20 dk.
- Reaktifler arası 2-3 dk.
- Reaktif ilave sonrası 20 dk kondüsyonlama
- Köpük alma 10 dk.

Arsenik analizleri X-Ray Flouresans Cihazı Jeol JSDX 100S Spectrometer and Diffractometer ile yapılmıştır. Tane sayım sonuçları çizelge 4'de verilmektedir. Sayım sonuçları CPS As olarak alınmıştır (Erkan,1999)

**Çizelge 4.** Artık barajı numunesi arseniğinin flotasyon ürünleri verim tablosu

Ürünler	Ağırlık, %	CPS As	İçerik	Verim, %
As Kons.	18.00	55646	1001628	55.51
O.Ü.	12.00	12801	153613	8.51
Süpür.Kons.	6.00	15583	93498	5.18
Nihai Artık	64.00	8683	555712	30.80
Toplam	100.00	18045	1804461	100.00

**Arsenik İçin yapılan ikinci araştırma;**

Numune –100 mikronun altına öğütülerek bir dizi flotasyon deneyi daha yapılmıştır. Bu deneyler için 300 gr numuneler hazırlanmış ve deneyler 2 lt'lik selüllerde gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerde 2000 devir/dk'da ve aşağıda belirtilen şartlarda yapılmıştır. Değiştirilen kriterler ise deneyler esnasında belirtilecektir. Burada elde edilen ürünlerin %As değerleri AAS cihazı ile okunmuştur.

**Toplayıcı** : KAX %1'lik 400 gr/ton  
3477 %1'lik 100 gr/ton

**Köpürtücü** : Dowfroth %0.01'lik 100 gr/ton

**Kondisyonlama** : 20 dk.

**Reaktifler arası** : 2-3 dk.

**Reaktif ilave bitimi**

**kondisyonlama süresi** :20 dk

**Köpük alma** :10 dk.

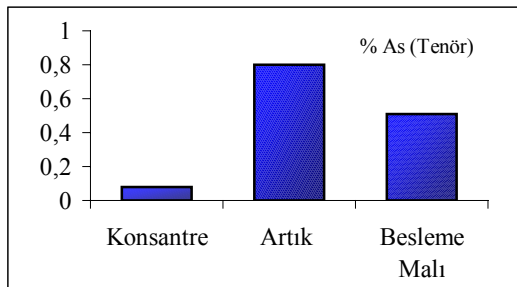
**Deney 1:**

**pH** : 10 (sönmüş kireç ilavesiyle)

**Gang bastırıcı** : Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> %5'lik 900 gr/ton

**Canlandırıcı** : CuSO<sub>4</sub> %1'lik 40 gr/ton

Ürünler	%Ağ	%As (Tenör)	%Verim
Konsantre	40	0.08	6.21
Artık	60	0.80	93.73
Besleme Malı	100	0.51	100



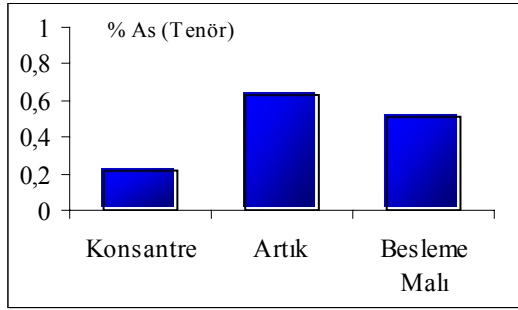
Tablo 1: Deney 1'den elde edilen sonuçların tablosal gösterimi.



**Deney 2:**

**pH** : 8 (doğal pH)  
**Gang bastırıcı** : Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> %5'lik 900 gr/ton  
**Canlandırıcı** : CuSO<sub>4</sub> %1'lik 40 gr/ton

Ürünler	%Ağ	%As (Tenör)	%Verim
<b>Konsantre</b>	<b>29.8</b>	<b>0.22</b>	<b>12.86</b>
<b>Artık</b>	<b>70.2</b>	<b>0.63</b>	<b>81.14</b>
<b>Besleme Malı</b>	<b>100</b>	<b>0.51</b>	<b>100</b>

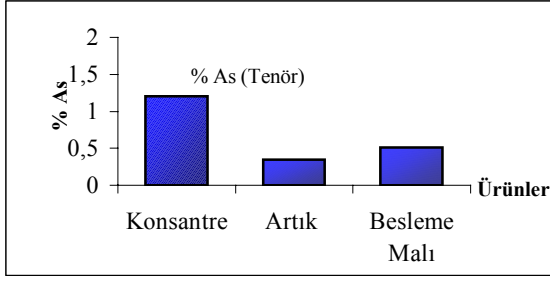


Tablo 2: Deney 2'den elde edilen sonuçların tablosal gösterimi.

**Deney 3:**

**pH** :5 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile)  
**Gang bastırıcı** : Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> %5'lik 900 gr/ton  
**Canlandırıcı** : CuSO<sub>4</sub> %1'lik 100 gr/ton

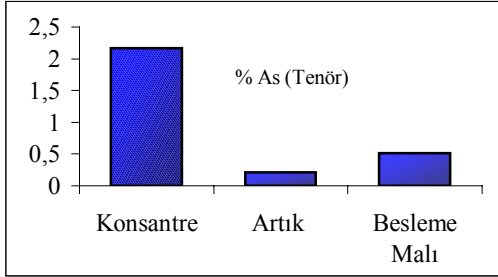
Ürünler	%Ağ	%As (Tenör)	%Verim
<b>Konsantre</b>	<b>18.52</b>	<b>1.20</b>	<b>43.57</b>
<b>Artık</b>	<b>81.48</b>	<b>0.35</b>	<b>56.43</b>
<b>Besleme Malı</b>	<b>100</b>	<b>0.51</b>	<b>100</b>



Tablo 3: Deneş 3'den elde edilen sonuçların tablosal gösterimi.

**Deneş 4:**pH : 5 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile)Gang bastırıcı : Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> %5'lik 1200 gr/tonCanlandırıcı : CuSO<sub>4</sub> %1'lik 40 gr/ton

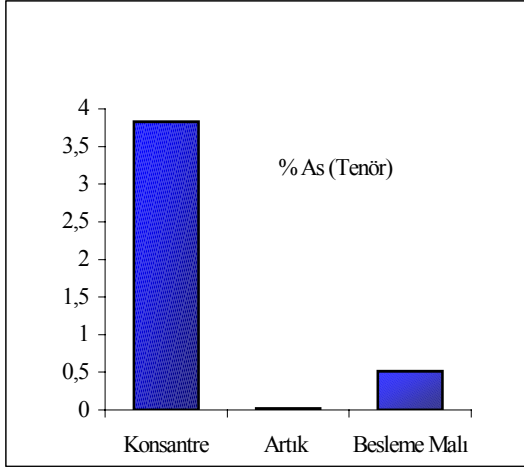
Ürünler	%Ağ	%As (Tenör)	%Verim
Konsantre	15.20	2.17	64.67
Artık	84.80	0.21	35.33
Besleme Malı	100	0.51	100



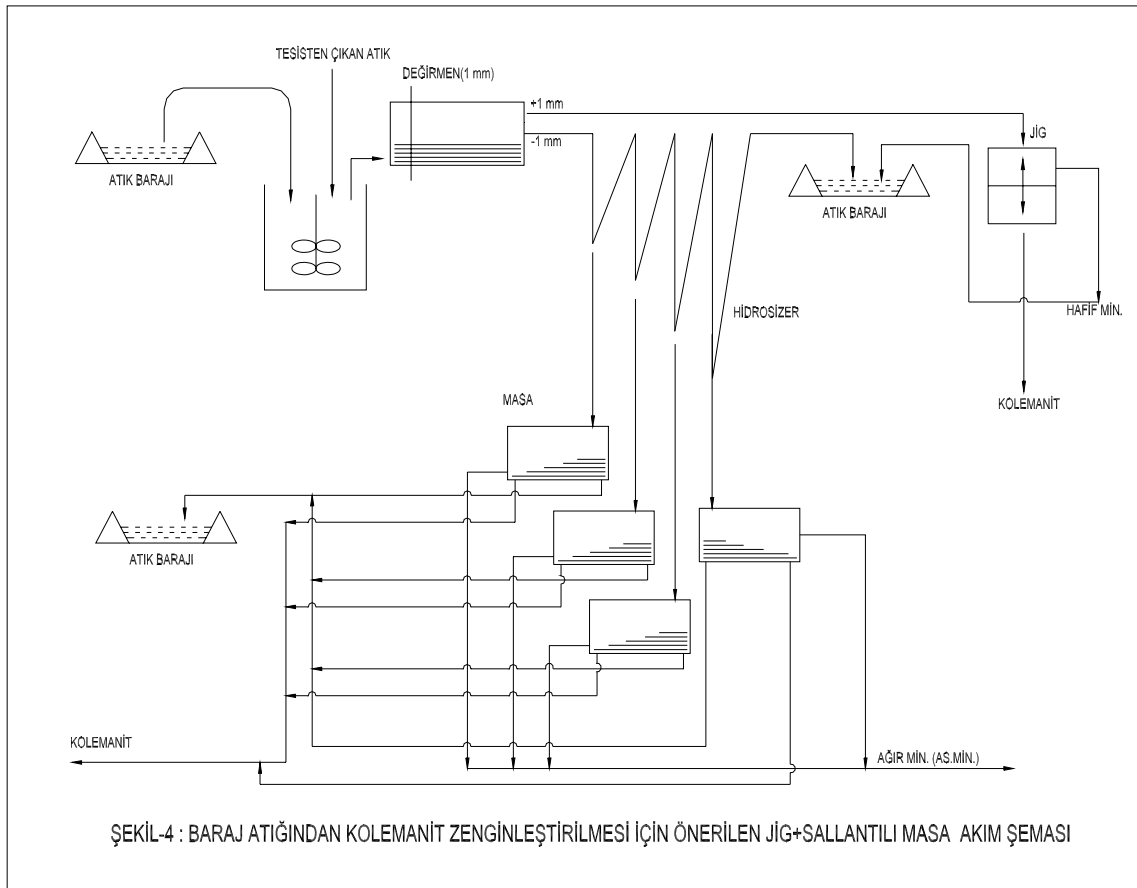
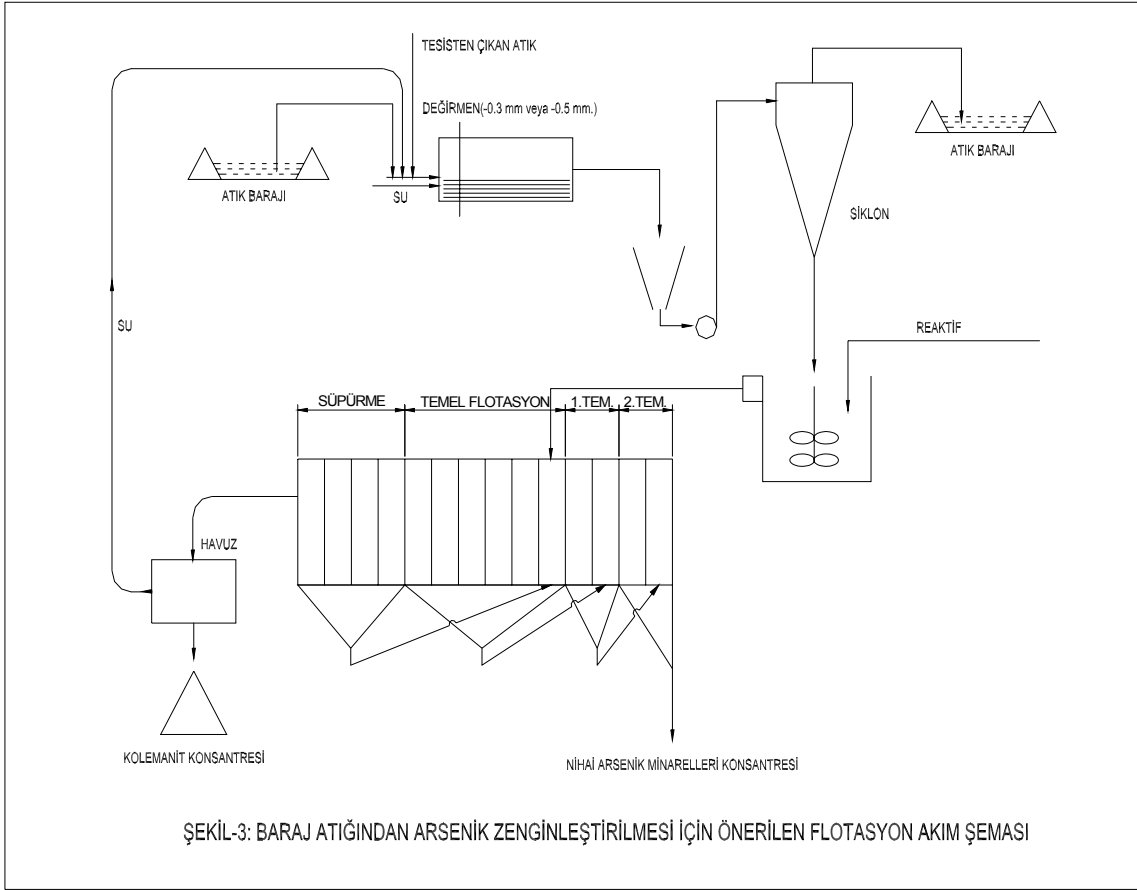
Tablo 4: Deneş 4'den elde edilen sonuçların tablosal gösterimi.

**Deneş 5:**pH : 5 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile)Gang bastırıcı : Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> %5'lik 900 gr/tonCanlandırıcı : CuSO<sub>4</sub> %1'lik 40 gr/ton

Ürünler	%Ağ	%As (Tenör)	%Verim
Konsantre	12.83	3.83	96.35
Artık	87.17	0.02	3.65
Besleme Malı	100	0.51	100



Tablo 5: Deney 5'den elde edilen sonuçların tablosal gösterimi.



#### 4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi Hisarcık baraj atıklarındaki kolemaniti kazanmak amacıyla uygulanan jig ve sallantılı masa zenginleştirme yöntemleri ile, % 17.28 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenöründe beslenen atıktan % 22.31 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü bir ürün %42.38 verim ile elde edilmiştir. Çalışmalar sonucunda ince boyutta şlam atmanın gerekliliği görülmüştür. Kazanılan kolemanit konsantreleri, daha sonraki zenginleştirme işlemleri için bir ön konsantre niteliğindedir. Bu araştırma sonuçlarına göre atık barajının ve bundan sonra oluşacak stokların teknik, ekonomik, çevresel yönden değerlendirilmesi mümkün olacaktır.

Arseniğin ise, çevresel yönden atık barajına verilmeden alınmasında fayda vardır. Arseniği kazanmak amacıyla yapılan flotasyon çalışmalarında önce tane sayım yöntemi uygulanmış ve %55.51 verim ile arseniğin kazanılabileceği görülmüştür. Daha sonra genişletilen, çalışmalarda, flotasyon yöntemi ile arseniğin yüzdürülmesine ilişkin pH'a bağlı verim ve tenör tespitinde; hafif alkali (pH=8), bazik (pH=10) ve asidik (pH=5) ortamlarında denemeler yapılmıştır. AAS cihazı ile yapılan okumalarda asidik ortamda yapılan flotasyon sonuçlarından %96.35 As verim ve %3.83 As tenörlü konsantre kazanılabileceği görülmüştür.

Bu çalışma, gerek bilimsel ve teknik, gerekse ekonomik ve çevresel yönden önem taşımaktadır. Buradaki çalışmalar atıklar için bir ön çalışma olup, -3mm baraj atıklarının zenginleştirilmesinde daha detaylı araştırmaların yapılması ve özellikle atıkların önce jig + sallantılı masa yöntemine tabi tutulduktan sonra uygulanacak flotasyon yöntemi ile bor ve arseniğin ayrı fazlarda kazanılması koşulları araştırılarak geliştirilmelidir. Konu ile ilgili geliştirilen akım şemaları Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmiştir.

## 5.KAYNAKLAR

**Çakaloz, T.**, 1971; “Bor Teknolojisinde Gelişmeler”, Türkiye Madencilik ve Teknik II. Kongresi, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.

**Ergin, Z., Cöcen, İ. ve Semerkant, O.**, 1993; “Cevher Zenginleştirme Laboratuvar Ders Notları”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 191, İzmir.

**Erkan, E.**, 1999; “ Eti Bor A.Ş.Emet Bor İşletme Müdürlüğü Espey ve Hisarcık Bölgesi Artık Barajlarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması”, Bitirme Projesi, İzmir.

**Barkın, R.**, 1991; “Kolemanit Zenginleştirme Teknolojisi, Bigadiç Kolemanit Cevherinin Kalsinasyon Yöntemi ile Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması”, Diploma Projesi, İzmir.

**Jain, S.K.**, 1987; “Ore Processing” A.A.Balkema/Rotterdam.

**Tosun, S.**, 1998; “Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Hisarcık Ocağı İşletme Etüdü”, Yılıçi Projesi, İzmir.

**Savaş, M.**, 1994; “Gölet Artıklarının Zenginleştirilme Olanaklarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi.

**Yarar, B.**, 1973; “Düşük Tenörlü Kolemanit Cevherinin Flotasyon Yolu ile Zenginleştirilmesi” Türkiye Madencilik ve Teknik III. Kongresi, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara

Eti Holding A.Ş. Bor Ürünleri Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, sayı 9, Ekim 1993, İzmir.