

# YOZGAT-AYRIDAM LİNYİTLERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

## INVESTIGATION OF CONCENTRATION OF YOZGAT-AYRIDAM LIGNITES

*Yakup CEBECİ\**  
*Salih AYDOĞAN\*\* Alper ÖZKAN\*\*\**

### ÖZET

Bu çalışmada, Yozgat-Ayndam linyitlerinin boyut dağılımı, boyuta göre kül ve kükürt içeriği tesbit edilmiş, mineralojik, kimyasal ve yıkanabilirlik özellikleri belirlenmiştir.

Elle ayıklama, ağır ortam, jig, sarsıntılı masa ve flotasyonla yapılan zenginleştirme çalışmaları sonucunda düşük kül (%13-14) ve kükürt (%0.73-1.32) içerikli temiz kömürlerin (konsantrelerin) üretilebileceği belirlenmiştir. Üretilen toplam konsantrenin kuru kömür bazında %13.70 kül, %1.15 kükürt içerdiği ve 6231 kcal/kg üst ısı değere sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca, yanabilir kısmın %80.83'ünün konsantrede kazanıldığı tesbit edilmiştir. Sonuç olarak, Ayndam kömürlerinin fiziksel yöntemlerle zenginleştirilebileceği ortaya konmuştur.

### ABSTRACT

In this study, size distribution sulphur and ash content with respect to their size, mineralogical, chemical and the washability properties of Yozgat-Ayndam lignites have been determined.

It has been shown that the clean coals containing low ash (13-14%) and sulphur (0.73-1.32%) have been produced as a result of the experiments carried out by using hand-sorting, heavy medium separation, flotation, jig and shaking table. The total clean coal obtained had 13.70 ash, 1.15% S and upper calorific value of 6231 kcal/kg in dry basis. In addition to that 80.83% of combustible portion was recovered in the clean concentrate of coal. As a result of the study, it was pointed out that Ayndam's coals can be concentrated by using physical cleaning methods.

(\* ) Yrd.Doç.Dr., Cumhuriyet Üniversitesi Müh. Fak. Maden Müh. Böl., SİVAS

(•\*) Arş.Gör., Cumhuriyet Üniversitesi Müh. Fak. Maden Müh. Böl., SİVAS

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, özellikle büyük şehirler başta olmak üzere bir çok ilde yaşanan hava kirliliğinin en büyük kaynağı olarak linyitler gösterilmekte ve kullanılmaması konusunda kamuoyu oluşturulmaktadır.

Gerçekten, sadece kükürt içeriği açısından bakıldığında, toplam rezervin ancak %3.70'inin kükürt tenörü %1'in altındadır (1). Bu nedenle ülkemiz linyitlerini genel olarak kül ve kükürt içeriği yüksek, ısı değeri düşük olarak tanımlamak mümkündür. Bu özellikler nedeniyle linyitlerin kullanımı sınırlanmakta ve yakacak olarak kullanımında linyitlerin yerini ithal kömür, doğal gaz ve diğer enerji kaynakları almaktadır. Gerek ülke ekonomisi gerekse mevcut kaynaklardan en iyi şekilde yararlanma dikkate alındığında, enerji kaynakları içerisinde en fazla rezerve sahip olan linyitlerden, yakacak olarak faydalanılma oranının artırılması kaçınılmazdır. Bu durum ise linyitlerin kullanma verilmeden önce, iyileştirme işleminden geçirilmesiyle mümkün olacaktır. Linyitlerin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar, çevresel faktörlerin kısıtlayıcı etkisi altında son zamanlarda büyük önem kazanmış, yüksek kükürt içeriği nedeniyle linyitlerini -pazariyemeyen bir çok özel sektör işletmesi bu konudaki çalışmalarını artırmışlardır.

Bu çalışmada, Yozgat Ayndam linyitlerinin kül ve kükürt oluşturu mineral maddelerinden arındırılması incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Deneylerde Kullanılan örneğin özellikleri

Deneylerde, Yozgat-Ayndam kömürleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar yıkanabilirlik ve zenginleştirme çalışmaları olmak üzere iki şekilde planlanmıştır. Her iki çalışma için aynı damara ait farklı zamanlarda alınan kömür örnekleri kullanılmıştır. örneklerin kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Yıkanabilirlik ve Zenginleştirme Çalışmalarında Kullanılan Kömürün Kimyasal Analiz Sonuçları

Analiz Edilen Bileşenler	Yıkanabilirlik Çalışmaları			Zenginleştirme Çalışmaları		
	Orjinal Kömür	Havada Kum Kümür	KümüKOrür	Orjinal KümOr	Havada Kum KOrür	Kümü KümOr
Nem(H)	5.88	4.43		6.81	5.29	
KOKK	24.98	25.36	24.79	27.96	28.01	30.00
Kakan (W)	115	1.17	124	147	150	158
AİD~(kcal/Mcg)	4778	4861	5113	4365	4344	4619
ÜTD (kcal**)	3013	5090	5326	4494	4567	4822

\*AS İaU Değer

\*\*Ort İül Değer

Çizelge 2 ve 3'de ise tüvenan kömürün boyut ve boyuta göre kül ve kükürt dağılım sonuçları verilmiştir. Elek analizleri yaş olarak yapılmış olup kül ve kükürt analizleri kuru kömür bazındaki değerlerdir.

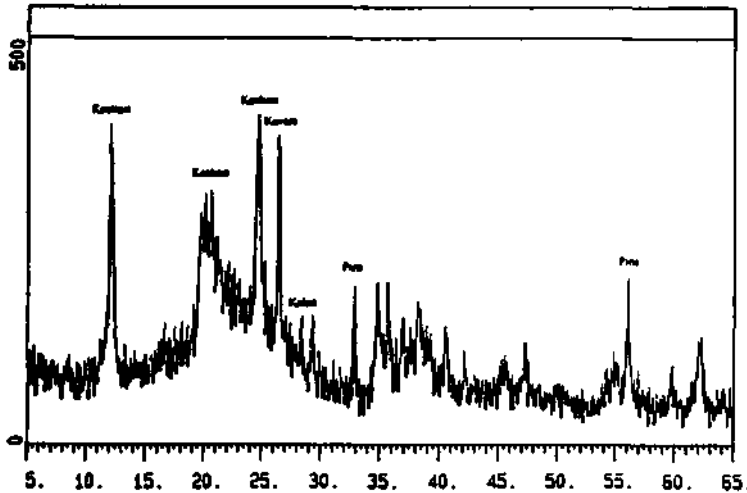
**Çizelge 2. Yıkanabilirlik Çalışmalarında Kullanılan Kömürün Boyut ve Boyuta Göre Kül ve Kükürt Dağılım Sonuçları**

İlan * Boyutu (ran)	Miktar Ott	Kol (*>	Kokart	K.E.A.	K.E.A. K0KS)	K.E.A. Kükürt(%)
-130+75	21.69	14.61	0.83	100.00	24.79	1.24
-75+30	13.80	29.25	1.17	78.31	27.62	1.35
-50+11	23.33	25.41	1.30	64.51	27.27	1.35
•18+10	1136	27.09	1.14	41.18	26.62	1.37
-10+« J	5.54	28.85	1.47	28.82	26.42	1.47
•43 +1.0	14.11	25.49	1.48	23.28	25.84	1.47
-1.0+0.5	5.54	25.74	1.38	9.17	26.34	1.55
-0.5	3.63	27.13	1.58	3.63	27.33	1.58
<b>Toplum</b>	<b>100.00</b>	<b>24.79</b>	<b>1.24</b>			

**Çizelge 3. Zenginleştirme Çalışmalarında Kullanılan Tüvenan Kömürün Boyut ve Boyuta Göre Kül ve Kükürt Dağılım Sonuçları**

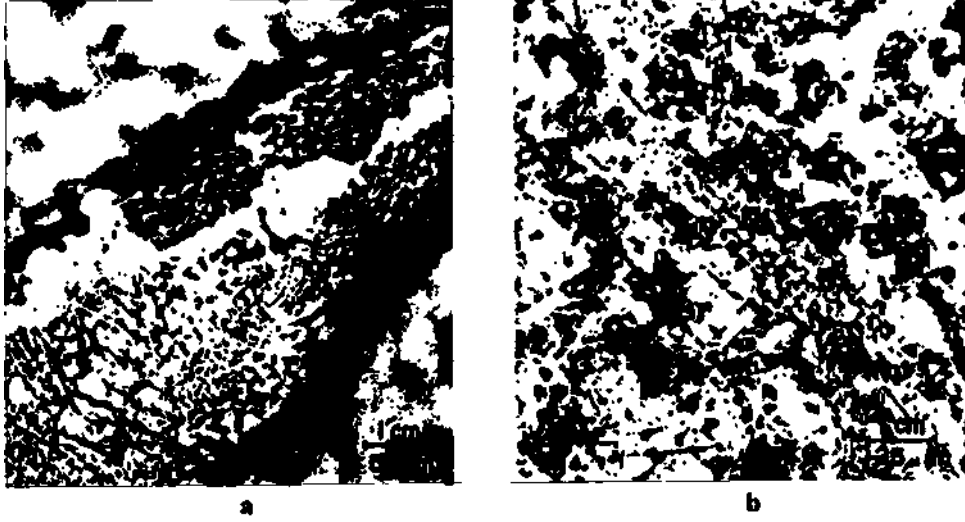
T «» Boyutu (mm)	Miktar (*)	KOI	Kükürt	K.E.A. (S)	K.E.A. KOI(%)	K.E.A. Kükürt (%)
-130+75	4.42	16.80	1.32	100.00	30.00	1.58
-75+50	11.22	32.41	1.78	95.58	30.61	1.59
-50+18	39.92	29.98	1.60	84.36	60.37	1.57
•18+10	19.97	30.72	1.22	53.44	30.59	1.55
-10+6.3	8.17	29.11	1.90	33.47	30.61	1.74
-6.3+1.0	16.38	28.70	1.65	25.30	30.97	1.69
-1.0+0.5	19.4	26.62	1.48	8.92	35.14	1.77
•0.5+0.053	4.78	30.42	1.96	5.98	39.33	1.92
•0.053	1.20	74.80	1.75	1.20	74.80	1.75
<b>Tosum</b>	<b>100.00</b>	<b>30.00</b>	<b>1.58</b>			

Ayrıca, örneklerle yapılan XRD sonuçlarına göre başlıca mineral maddelerin pirit, kalsit, kaolinit ve kuvars olduğu gözlemlenmiştir, örneğin XRD sonuçları Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1. Tüvenan kömürün XRD sonuçları**

Şekil 2 a ve b'de Örneklerdeki piritin durumu gösterilmiştir. Piritin büyük bir kısmının levha ve çatlak dolgusu şeklinde iri boyutlarda olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2. örneklerdeki piritin görünüşü

Ayrıca örnekler üzerinde yapılan makroskobik incelemelerden kömür ve gang mineralleri arasında belirgin bir renk farkı gözlemlenmiştir. Kömür örneklerinin koyu siyah, gang mineralleri ise biraz daha açık renkli (gri) olduğu belirlenmiştir.

## 2.2. Deneylerin Yapılışı

### 2.2.1. Yüzdürme-batırma deneyleri

Yüzdürme-batırma deneyleri  $ZnCl_2$  ile hazırlanan 1.30, 1.40, 1.50, 1.60, 1.70 1.80, **1.90 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğundaki** sıvılarla yapılmıştır. Deneylerde -130 +75, -75 +50, -50 +18, -18 +10, -10 +6.3, -6.3 +1.0 ve -1.0 +0.5 mm tane boyudan kullanılmıştır. -0.5 mm tane boyutuyla yapılan yoğunluk analizine bu çalışmada yer verilmemiştir. Ayrıca, hem yıkanabilirlik hem de zenginleştirme çalışmalarında kullanılan örneklerde +100 mm'lik kısım oran +75 mm'lik kısmın yaklaşık %10'unu oluşturduğu belirlendiğinden iri boyutlar ayrılmaksızın yıkanabilirlik deneylerinde kullanılmıştır.

### 2.2.2 Zenginleştirme deneyleri

Zenginleştirme deneylerinde ağır ortam banyoları, Harz tipi mineral jigi, Wilfley tipi sarsman masa, Multi Gravite Seperatör (MGS) ve Penver tipi flotasyon selüleri kullanılmıştır.

Flotasyon deneyleri şu koşullarda yapılmıştır: Tane boyutu -0.5 mm, katı oranı %10, pH 7.50, bastırma 2000 gr/ton  $NajSiO_3$ , toplayıcı 500-6000 gr/ton gazyağı, köpürtücü 100 gr/ton Flotal B, karıştırma hızı 1000 dev/dk, flotasyon süresi 5 dakika.

### 3. DENEY BULGULARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 3.1. Yıkanabilirlik Deneylelerinden Elde Edilen Bulguların Değerlendirilmesi

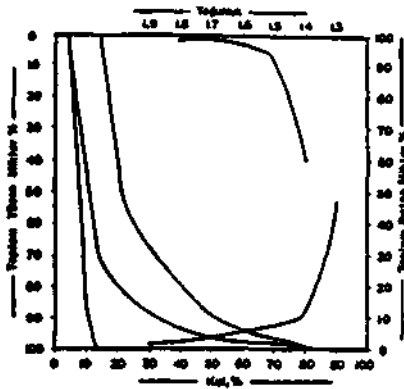
Çizelge 2'de verilen elek analizi esas alınarak her tane boyutuna yuzdurme-batuma testleri uygulanmıştır. Tane sınıfı yıkanabilirlik analiz bulguların Çizelge 4-10 ve Şekil 3-9'da tüvenan kömürün hesaben birleştirilmiş analiz sonuçları Çizelge 11 ve Şekil 10'da verilmiştir. Tablolardaki  $u+in^2/2$  değerleri kul karakteristik (parça kulu eğnsı) ordinat değerleridir.

Çizelge 4. -130 +75 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Değerleri

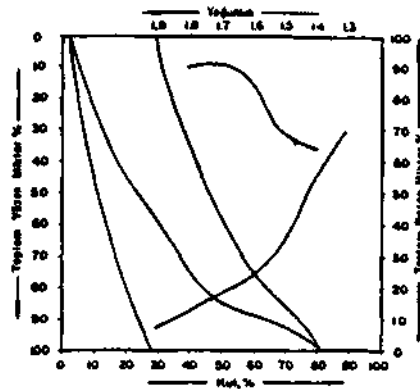
Y<*-y<	YoanUraa			Toptan Yuna Onu			Toptan Bun Onm			»iH^n
	*A>	H Kül	SS	->,*+!	S Kül	KS	HA.	%K0l	SS	
•13	5101	113	063	5101	i11	061	100*	1461	0n	2654
13-14	36<	11.71	OM	-99<	10S6	072	4693	2171	106	7152
14-16	513	» 11	İM	9521	1214	075	1004	SOM	1 16	92 59
16-19	24S	49 4C	2.02	97 7(	110»	079	47S	6169	23<	9646
•1.»	Z3C	79 U	276	100*	1461	Oil	2<	7916	276	9S15
Toplan	100<	14<	On							

Çizelge 5. -75 +50 mm Tane Boyutu Yıkanabilirlik Değerleri

W	YaanOnn			Toptan YOan On*			Toptan Bun Ona			», ^ y j
	**f	KKol	HS	HA.	HKül	HS	SAİ	H Kül	SS	
-13	30.93	761	093	3093	76S	091	100 00	2925	117	1546
11-14	1404	1555	070	44*	1014	0(6	6901	1190	1 56	1794
14-15	2141	2916	1 14	6633	1634	095	5504	44(6	171	5567
15-16	10*	39.41	190	7723	1960	İM	1163	54 71	220	71(2
16-17	423	4X11	43<	11 X	2077	125	2273	6204	214	7919
17-11	SIC	5051	324	16<	2252	117	1150	6660	1(7	14 05
I H 9	591	6436	146	92.51	2520	İM	11<	72 71	135	(956
+1»	74S	7930	120	1000!	2925	117	74S	7910	126	9626
Topun	100 00	2925	137							



Şekil 3. -130 +75 mm tane boyutu yıkanabilirlik eğrileri



Şekil 4. -75 +50 mm tane boyutu yıkanabilirlik eğrileri

**Çizelge 6. -50 +18 mm Tane Boyutu Yıkabilirlik Değerleri**

Yoğunluk gr/cm <sup>3</sup>	Yüzem Ürün			Toplam Yüzem Ürün			Toplam Basın Ürün			d <sub>1</sub> * (d <sub>2</sub> )/2
	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	
-1.3	36.40	6.71	0.62	36.40	6.78	0.62	100.00	28.41	1.30	18.20
1.3-1.4	16.88	16.44	0.79	53.28	9.84	0.67	63.00	40.79	1.09	44.84
1.4-1.5	9.12	29.72	2.00	62.40	12.69	0.87	46.72	49.59	2.02	57.84
1.5-1.6	8.63	36.95	1.73	71.02	15.63	0.97	37.60	54.51	2.02	66.71
1.6-1.7	6.73	46.34	1.70	77.75	18.30	1.04	28.98	59.73	2.10	74.40
1.7-1.8	8.45	51.85	2.16	86.20	21.59	1.15	22.22	63.80	2.22	82.00
1.8-1.9	5.78	63.18	1.92	91.98	24.19	1.20	13.78	71.12	2.26	89.10
+1.9	8.08	76.83	2.50	100.00	28.41	1.30	8.08	76.83	2.50	94.99
Toplam	100.00	23.41	1.30							

**Çizelge 7. -18 +10 mm Tane Boyutu Yıkabilirlik Değerleri**

Yoğunluk gr/cm <sup>3</sup>	Yüzem Ürün			Toplam Yüzem Ürün			Toplam Basın Ürün			d <sub>1</sub> * (d <sub>2</sub> )/2
	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	
-1.3	39.92	6.44	0.64	39.92	6.44	0.64	100.00	27.08	1.14	19.90
1.3-1.4	15.72	15.70	0.75	55.64	9.06	0.77	60.00	40.80	1.47	47.78
1.4-1.5	10.26	27.08	1.24	65.90	11.86	0.76	44.38	49.69	1.78	60.77
1.5-1.6	6.62	37.35	1.34	72.52	14.19	0.81	34.10	56.49	1.87	69.21
1.6-1.7	6.80	45.78	1.58	79.32	16.90	0.88	27.48	61.10	2.00	75.92
1.7-1.8	4.18	52.43	1.44	83.50	18.68	0.91	20.68	66.14	2.14	81.41
1.8-1.9	5.10	61.16	1.55	88.60	21.12	0.94	16.50	69.42	2.31	86.03
+1.9	11.40	73.40	2.65	100.00	27.08	1.14	11.40	73.40	2.65	94.30
Toplam	100.00	27.08	1.14							

**Çizelge 8. -10 +6.3 mm Tane Boyutu Yıkabilirlik Değerleri**

Yoğunluk gr/cm <sup>3</sup>	Yüzem Ürün			Toplam Yüzem Ürün			Toplam Basın Ürün			d <sub>1</sub> * (d <sub>2</sub> )/2
	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	
-1.3	38.36	6.67	0.65	38.36	6.67	0.65	100.00	28.65	1.47	19.43
1.3-1.4	13.91	15.28	0.75	52.27	8.94	0.68	61.14	42.95	1.98	45.82
1.4-1.5	9.47	25.67	1.10	62.24	11.49	0.74	47.23	51.09	2.35	57.51
1.5-1.6	5.72	35.32	1.28	68.01	13.51	0.79	37.76	57.47	2.66	65.13
1.6-1.7	5.22	42.80	1.44	73.23	15.60	0.83	31.95	61.47	2.91	70.62
1.7-1.8	5.03	48.85	1.71	78.26	17.73	0.89	26.73	65.10	3.20	75.75
1.8-1.9	6.23	58.15	1.40	84.49	20.71	0.93	21.74	68.87	3.54	81.38
+1.9	15.51	73.17	4.40	100.00	28.65	1.47	15.51	73.17	4.40	92.25
Toplam	100.00	28.65	1.47							

**Çizelge 9. -6.3 +1.0 mm Tane Boyutu Yıkabilirlik Değerleri**

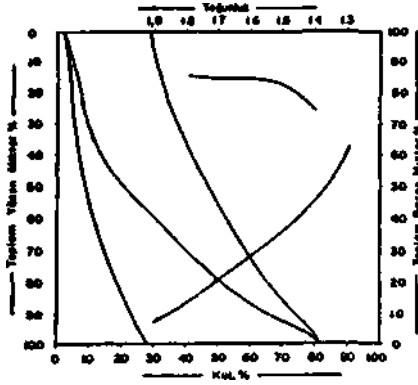
Yoğunluk gr/cm <sup>3</sup>	Yüzem Ürün			Toplam Yüzem Ürün			Toplam Basın Ürün			d <sub>1</sub> * (d <sub>2</sub> )/2
	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	
-1.3	40.03	5.25	0.63	40.03	5.25	0.63	100.00	25.49	1.48	20.02
1.3-1.4	18.02	13.32	0.68	58.05	7.76	0.65	59.97	39.01	2.05	49.04
1.4-1.5	7.40	23.07	0.92	65.45	9.49	0.68	41.95	50.04	2.64	61.75
1.5-1.6	6.01	32.47	1.22	71.46	11.42	0.72	34.55	55.82	3.01	68.46
1.6-1.7	4.46	40.75	1.52	75.92	13.14	0.77	28.54	60.74	3.39	73.69
1.7-1.8	2.97	47.98	1.55	78.89	14.45	0.79	24.08	64.44	3.73	77.41
1.8-1.9	2.43	54.48	1.50	81.32	15.65	0.81	21.11	66.75	4.07	80.11
+1.9	18.68	68.31	4.40	100.00	25.49	1.48	18.68	68.35	4.40	90.66
Toplam	100.00	25.49	1.48							

**Çizelge 10. -1.0 +0.5 mm Tane Boyutu Yıkabilirlik Değerleri**

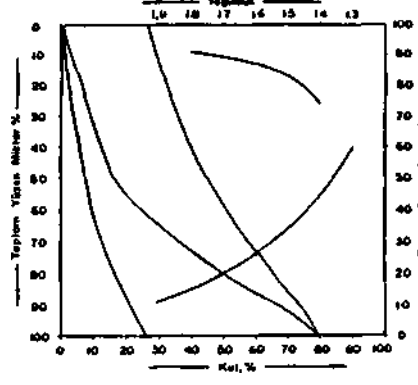
Yoğunluk gr/cm <sup>3</sup>	Yüzem Ürün			Toplam Yüzem Ürün			Toplam Basın Ürün			d <sub>1</sub> * (d <sub>2</sub> )/2
	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	
-1.3	37.77	5.81	0.56	37.77	5.81	0.56	100.00	25.74	1.38	18.89
1.3-1.4	20.92	10.15	0.69	58.70	7.36	0.61	62.23	37.83	1.88	48.24
1.4-1.5	7.85	20.49	0.83	66.55	8.91	0.63	41.30	51.86	2.48	62.03
1.5-1.6	5.73	29.74	1.04	72.28	10.56	0.67	33.45	59.22	2.86	67.42
1.6-1.7	3.29	39.30	1.24	75.57	11.82	0.69	27.72	63.31	3.24	71.21
1.7-1.8	1.63	45.45	1.27	77.20	12.53	0.70	24.43	68.79	3.51	76.49
1.8-1.9	1.98	50.07	1.38	79.18	13.47	0.72	22.80	70.46	3.67	78.20
+1.9	20.81	72.41	3.89	100.00	25.74	1.38	20.81	72.41	3.89	89.66
Toplam	100.00	25.74	1.38							

**Çizelge 11. Tüvenan Kömür Yıkabilirlik Değerleri (-130 +0.5 mm)**

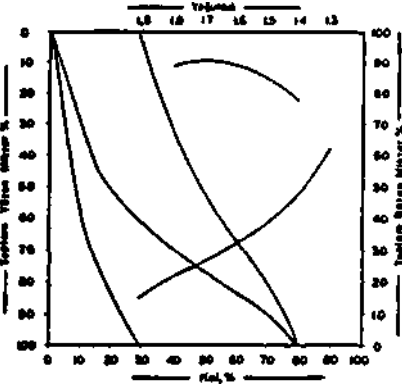
Yoğunluk gr/cm <sup>3</sup>	Yüzem Ürün			Toplam Yüzem Ürün			Toplam Basın Ürün			d <sub>1</sub> * (d <sub>2</sub> )/2
	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	% A <sub>8</sub>	% K <sub>8</sub>	% S	
-1.3	40.58	7.01	0.66	40.58	7.01	0.66	100.00	34.70	1.22	29.29
1.3-1.4	21.06	14.44	0.77	61.64	9.55	0.70	59.42	36.77	1.60	51.11
1.4-1.5	8.67	27.53	1.33	70.31	11.77	0.78	38.30	49.03	2.05	65.98
1.5-1.6	7.23	36.96	1.56	77.53	14.11	0.85	29.06	55.30	2.26	73.92
1.6-1.7	4.26	44.21	2.00	81.79	15.08	0.91	22.47	61.20	2.48	79.66
1.7-1.8	4.13	50.94	2.12	85.91	17.37	0.97	18.22	65.16	2.59	83.63
1.8-1.9	4.21	59.81	1.69	90.19	19.39	1.00	14.06	69.33	2.73	88.09
+1.9	9.81	73.48	3.19	100.00	24.70	1.22	9.81	73.48	3.19	95.10
Toplam	100.00	24.70	1.22							



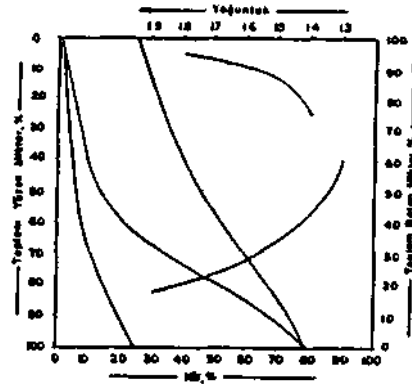
Şekil 5. -50 +18 mm tane boyutu yıkanabilirlik eğrileri



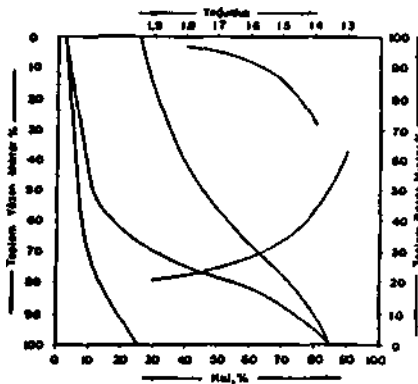
Şekil 6. -18 +10 mm tane boyutu yıkanabilirlik eğrileri



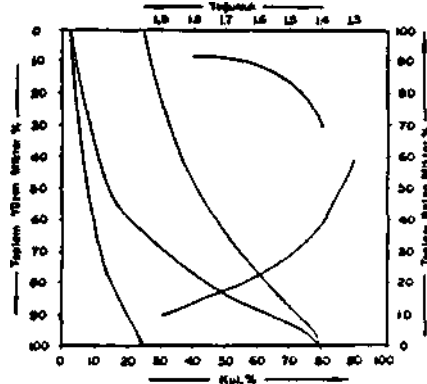
Şekil 7. -10 +6.3 mm tane boyutu yıkanabilirlik eğrileri



Şekil 8. -6.3 +1.0 mm tane boyutu yıkanabilirlik eğrileri



Şekil 9. -1.0 +0.5 mm tane boyutu yıkanabilirlik eğrileri



Şekil 10. Tüvenan kömür yıkanabilirlik eğrileri

Yikanabilirlik eğrilerinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

+75 tam tane boyutunda, 1.5 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk değerinden düşük yoğunluklarda  $\pm 0.1$  yoğunluk değerinin yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca kül karakteristik eğrisinin (parça külü eğrisi) dike yakın bir şekilde olması zenginleştirmenin iyi olmayacağını göstermektedir.

-75 +50 mm tane boyutunda düşük yoğunluklarda  $\pm 0.1$  yoğunluk değerleri yüksek olup kül karakteristik eğrisi belirgin bir bükülme göstermemektedir. Ayrıca, düşük kül içerikli konsantrenin (%10-14) 1.4 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğundan daha düşük yoğunluklarda elde edilebileceği görülmektedir. Ancak bu yoğunluk değerinde beslenen malzemenin çok az bir kısmı yüzmektedir. Bu tane boyutunun yikanabilirlik numarası 29 olarak bulunmuştur. Bu bulgular, yüksek randımanla temiz kömür elde etmek için, iri boyutta boyut küçültme işleminin uygulanması gereğini ortaya koymaktadır.

-50 +18, -18 +10, -10 +6.3, -6.3 +1.0 ve -1.0 +0.5 mm tane boyudan için  $\pm 0.1$  yoğunluk değerlerinde düşmeler meydana gelmektedir. Bu boyutlarda, 1.5 gr/cm<sup>3</sup> ve daha yüksek yoğunluklarda düşük kül ve kükürt içerikli konsantrelerin üretilebileceği belirlenmiştir.

Kükürt analizi değerlerinden, genel olarak 1.5 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk değerinden daha büyük yoğunluk aralıklarında kükürt tenorunun %1'den daha büyük olduğu görülmektedir.

İri boyutlarda 1.9 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğunda batan kısmın kükürt tenoru %2.5 civarında iken, -10 +6.3, -6.3 +1.0, -1.0 +0.5 mm boyutlarında 1.9 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğunda batan kısmın kükürt tenörü %4 civarında değerlere ulaşmaktadır. Bu bulgular boyut küçüldükçe piritin serbestleşme derecesinin arttığını göstermektedir. Ayrıca yüksek yoğunluklarda kükürt içeriğinin artması piritin kömür içerisinde büyük boyutta veya pirit kümecikleri halinde olduğunu göstermektedir. Bu bulgular mineralojik analiz (pirit çatlak dolgusu halindedir) verileriyle uyumludur.

Tüvenan kömüre ait hesapla birleştirilmiş yüzdürme-batırma eğrilerinden ve Çizelge II'den 1.5 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğunda zenginleştirme yapıldığında, beslenen kömürün %70.3 Tinin, %11.77 kül ve %0.78 kükürt tenörlü konsantre olarak kazanılabileceği belirlenmiştir. Bu durumda yanabilir kısım verim değeri %82.38 olmaktadır.

Genel olarak yüzdürme-batırma testlerinden düşük kül içerikli konsantrelerin üretilmesinin mümkün olacağı görülmektedir.

Tüm tane fraksiyonları için, en fazla yüzen kısım 1.30 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğunda tesbit edilmiştir. Tane boyutu küçüldükçe serbestleşmenin artması sonucu, düşük yoğunluklarda yüzen kısmın kül tenörü azalmaktadır.

Boyut küçüldükçe, 1.5-1.9 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığındaki malzeme miktarı azalmaktadır.



Düşük yoğunluklarda yüzen kısımların ağırlık oranları, her tane boyutu kül tenoru ve serbestleşme durumuna bağlı olarak değişmektedir.

Tane iriliğine bağlı olarak yıkanabilirlik numaraları boyut küçüldükçe artmaktadır. +75 mm tane iriliğinde yıkanabilirlik numarası (W<sub>n</sub>) 24, -75 +50 mm tane sınıfında 29 iken, -50 +18 mm tane sınıfında 37, -1.0 +0.5 mm tane boyutunda 49'a ulaşmıştır. Bu değerler de yıkanabilirliğin ince boyutlarda (-50 mm) iyileştiğini göstermektedir.

### 3.2. Zenginleştirme Deneyleri

Zenginleştirme deneyleri aynı ocağa ait farklı zamanda alınan örneklerle yapılmıştır. Örneğin boyut ve boyuta göre kül ve kükürt dağılımı Çizelge 3'de verilmiştir.

+75 mm tane boyutunda ocaktan farklı zamanlarda alınan örneklerin kül içeriklerinin düşük olması (%14.10, %16.80) ve yan kayaçla kömür arasında belirgin bir renk farkının olması nedeniyle bu fraksiyonun elle ayıklamayla zenginleştirilmesine karar verilmiştir.

Yıkanabilirlik eğrilerinden iri boyutlarda (+50 mm) düşük kül ve kükürt içerikli konsantrelerin 1.5 gr/cm<sup>3</sup>'den daha düşük yoğunluk değerlerinde elde edilebileceği belirlenmiştir. Ancak bu fraksiyonlarda toplam yüzen kısmın ağırlık oranının az ve yıkanabilirlik numarasının düşük olması nedeniyle serbestleşmenin yeterli olmadığı tesbit edilmiştir. Bu nedenle -75 +50 mm tane boyutu -50 mm'ye kırılarak zenginleştirmeye tabi tutulmuştur.

-18 +10, -10 +6.3, -6.3 +1.0, -1.0 +0.5 mm tane boyutları 1.5 gr/cm<sup>3</sup>'ten daha yüksek yoğunluklarda zenginleştirildiğinde yine kül ve kükürt içeriği düşük konsantrelerin üretilebileceği belirlenmiştir. Ayrıca ±0.1 yoğunluk değerleri 1.5 ve daha büyük yoğunluklarda 10 civarındadır. Bu değerler ince boyutlarda zenginleştirmenin kolay olacağını belirtmektedir. Buna göre tane boyutuna bağlı olarak aşağıdaki ünitelerde zenginleştirmenin yapılması ön görülmüştür.

+75 mm elle ayıklama, -50 +18 mm ve -18 +10 mm ağır ortam, -10 +6.3 ve -6.3 +1.0 mm jig, -1.0 +0.5 mm sarsıntılı masa ve -0.5 +0.053 mm ile spiral, sarsıntılı masa, flotasyon ve Multi Gravite Separatör (MGS), -53 um miktarının az ve kül içeriğinin düşük olmasından dolayı zenginleştirme işlemine tabi tutulmamıştır.

#### 3.2.1. Elle ayıklama deneyi bulgularının değerlendirilmesi

Elle ayıklama deneyinde, +75 mm fraksiyonundaki yan kayaç ve kenedi taneler elle ayıklanmış ve işlemler sonucunda iri parça kömür ve artık üretilmiştir. Deney bulguları Çizelge 12'de verilmiştir.

**Çizelge 12. Elle Ayıklama Deneyi Sonuçları**

Ürünler	Aâ. (%)	Kül (%)	Y. Verim (%)
Konsantre	93.53	13.04	97.76
Artık	6.47	71.12	2.24
Toplam	100.00	16.80	100.00

Sonuçlardan görüleceği gibi +75 mm'lik kısma elle ayıklama işlemi uygulandığında %13.04 küllü temiz kömür %97.76 yanabilir verimle üretilmektedir.

### 3.2.2. Ağır ortam deneyi bulgularının değerlendirilmesi

Ağır ortam deneyleri, -50 +18 mm ve -18 +10 mm tane boyutlarına uygulanmıştır. önce 1.5 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğunda yüzdürme-batırma yapılmış, daha sonra batan kısım 1.9 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğunda yüzdürülerek ara ürün ve artık üretilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 13 ve 14'de verilmiştir.

**Çizelge 13. -50 +18 mm Ağır Ortam Deneyinin Sonuçları**

Ürünler	M. (%)	Kül (%)	Y. Verim (%)
Konsantre	68.79	13.19	85.66
Ara ürün	6.68	40.68	5.68
Artık	24.53	75.40	8.66
Toplam	100.00	30.29	100.00

**Çizelge 14. -18 +10 mm Ağır Ortam Deneyinin Sonuçları**

Ürünler	A*. (%)	Kül (%)	Y. Verim (%)
Konsantre	66.35	13.82	83.88
Artık	33.65	67.34	16.12
Toplam	100.00	31.83	100.00

Ağır ortam deneyleri sonucunda yanabilir kısım, -50 +18 mm, -18+10 mm boyutları için sırasıyla %85.66, %83.88 verimle kazanılmıştır.

### 3.2.3. Jig deneyi bulgularının değerlendirilmesi

Jig deneyinde -10 +6.3 mm ve -6.3 +1.0 mm fraksiyonları kullanılmış, taşma yoluyla konsantre, ara ürün ve artık üretilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 15 ve 16'da verilmiştir.

**Çizelge 15. -10 +6.3 mm Jig Deneyinin Sonuçları**

Ürünler	M. (%)	Kül (%)	Y. Verim (%)
Konsantre	70.04	13.97	84.72
Ara ürün	15.65	53.19	10.30
Artık	14.31	75.23	4.98
Toplam	100.00	28.87	100.00

**Çizelge 16. -6.3 +1.0 mm Jig Deneyinin Sonuçları**

Ürünler	A*. (%)	Kül (%)	Y. Verim (%)
Konsantre	54.89	13.49	65.19
Ara ürün	21.75	36.75	18.89
Artık	23.36	50.35	15.92
Toplam	100.00	27.16	100.00

Jig deneyleri sonucunda yanabilir kısım, -10 +6.3 mm, -6.3 +1.0 mm boyudan için sırasıyla %84.72, %65.19 verimle kazanılmıştır.

#### 3.2.4. Sarsıntılı masa deneyi bulgularının değerlendirilmesi

Sarsıntılı masa deneyleri -1.0 +0.5 mm tane boyutundaki malzemeyle yapılmış ve Çizelge 17'deki bulgular elde edilmiştir.

Çizelge 17. -1.0 +0.5 mm Sarsıntılı Masa Deneyinin Sonuçları

Ürünler	AÄ (%)	Kül (%)	Y. Verim (%)
Konsantre	63.33	14.57	73.60
Ara ürün	8.68	29.44	8.34
Artık	27.99	52.56	18.06
Toplam	100.00	26.49	100.00

Deneyler sonucunda %63.33 ağırlık oranındaki konsantre, %14.57 kül oranıyla üretilmiştir. Ayrıca bu grupta spiral deneyleri yapılmış, ara ürün ve artığın tekrar zenginleştirilmesiyle benzer sonuçlar elde edilmiştir.

#### 3.2.5. -0.5 +0.053 mm tane boyutundaki malzemeyle yapılan deneylerden elde edilen bulguların değerlendirilmesi

Bu grupta sarsıntılı masa, spiral, multi gravite separator (MGS) ve flotasyon deneyleri yapılmıştır. MGS ile %17.37, sarsıntılı masayla %21.13, spiral ile %22.15 ve flotasyon ile gazyağı konsantrasyonuna bağlı olarak %14.00-22.12 kül içeren konsantreler üretilmiştir. Ancak yanabilir verim yönünden en iyi sonuç, MGS ile elde edilmiştir. MGS ile yapılan deneylerden elde edilen bulgular Çizelge 18'de verilmiştir.

Çizelge 18. -0.5 +0.053 mm MGS Deneyinin Sonuçları

Ürünler	AS. (%)	Kül (%)	Y. Verim (%)
Konsantre	68.35	17.37	79.21
Artık	31.65	53.17	20.79
Toplam	100.00	28.70	100.00

Çizelge 19'dan görüldüğü gibi tüvenan kömürün zenginleştirilmesi sonucunda %65.56 ağırlık oranındaki konsantre, %80.83 yanabilir verim ve %13.70 kül tenörüyle elde edilmektedir. Bu durumda elde edilen birleştirilmiş konsantrenin kuru kömür bazında üst ısıl değeri 6231 kcal/kg ve kükürt tenörü % 1.15 olmaktadır.

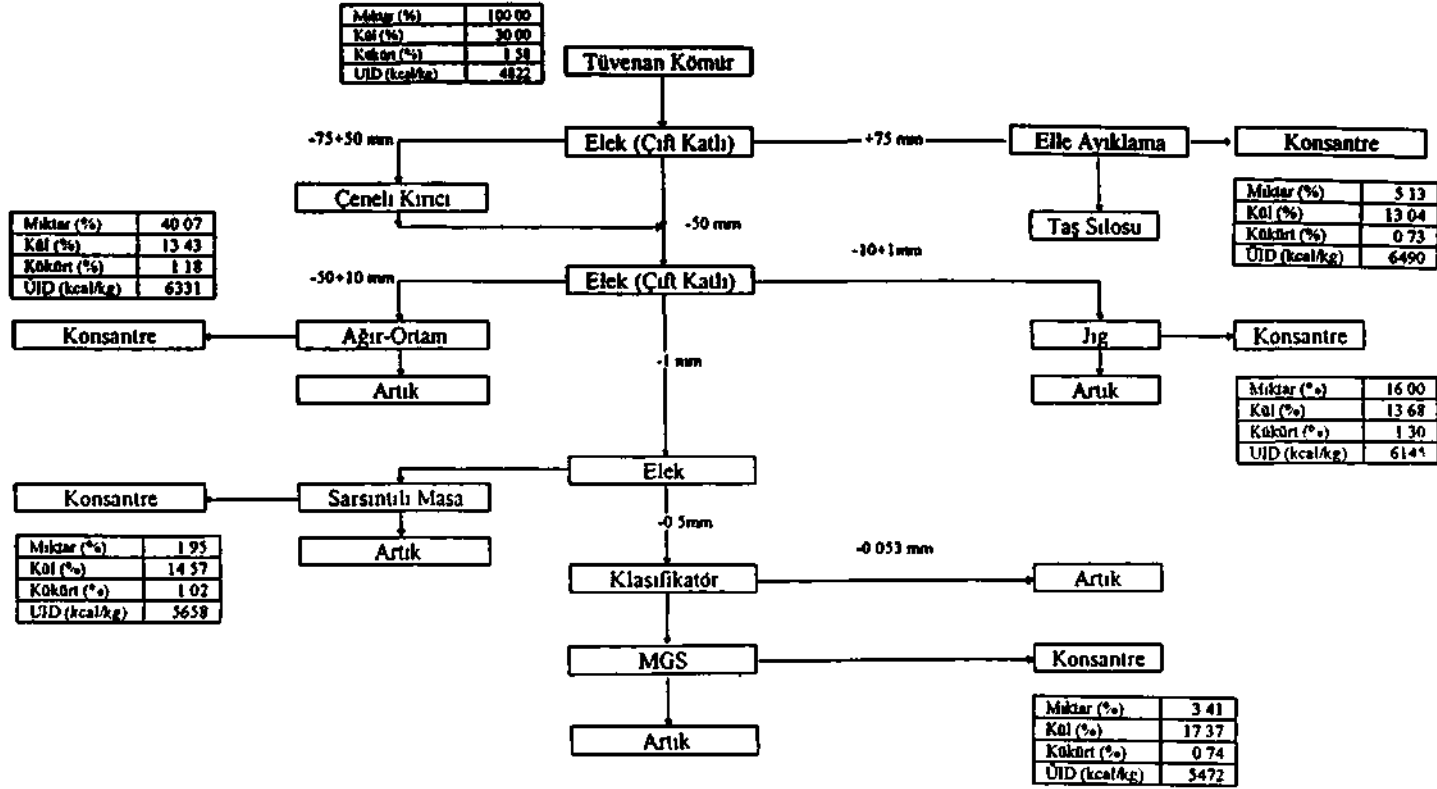
Şekil II'de Yozgat-Aydam linyitlerinin zenginleştirilmesine yönelik akım şeması verilmiştir. Akım şeması üzerinde veriler birleştirilmiş sonuçlardır. Kuşkusuz, tesis kurma aşamasında pilot ölçekli yapılacak çalışmaların sonucunda dikkate alınarak, akım şemasında öngörülen değişiklikleri yapmak mümkündür.

Çizelge 19. Zenginleştirme Deneylerinin Toplu Sonuçları

Boyut Aralığı (mm)	Zenginleştirme Yöntemi	Ürünler	Miktar (%)		Kül (%)	Yanabilir Verim (%)		Kuru Baz	
			Deneye göre	Germe göre		Deneye göre	Germe göre	ÜİD* (kcal/kg)	Kütlül (%)
+75	Elle Ayıklama	Konsantre	93.33	4.13	13.04	97.76	5.13	6490	0.73
		Artık	6.47	0.29	71.12	2.24	0.12		
		Toplam	100.00	4.42	16.80	100.00	5.25		
-50 +18	Ağır ortam	Konsantre	68.79	25.09	13.19	85.66	31.12	6419	1.26
		Ara ürün	6.68	2.44	40.68	5.68	2.07		
		Artık	24.53	8.95	75.40	8.66	3.15		
		Toplam	100.00	36.48	30.29	100.00	36.34		
-18 +10	Ağır ortam	Konsantre	66.35	14.98	13.82	83.88	18.45	6182	1.05
		Artık	33.65	7.59	67.34	16.12	3.54		
		Toplam	100.00	22.57	31.83	100.00	21.99		
10 +6.3	Jig	Konsantre	70.04	6.24	13.97	84.72	7.67	5968	1.32
		Ara ürün	15.65	1.39	53.19	10.30	0.93		
		Artık	14.31	1.27	75.23	4.98	0.45		
		Toplam	100.00	8.90	28.87	100.00	9.05		
-6.3 +1.0	Jig	Konsantre	54.89	9.76	13.49	65.19	12.06	6258	1.29
		Ara ürün	21.75	3.87	36.75	18.89	3.50		
		Artık	23.36	4.15	50.35	15.92	2.94		
		Toplam	100.00	17.78	27.16	100.00	18.50		
1.0 +0.5	Sarımsaklı Masa	Konsantre	63.33	1.95	14.57	73.60	2.38	5658	1.02
		Ara ürün	8.68	0.27	29.44	8.34	0.27		
		Artık	27.99	0.86	52.56	18.06	0.58		
		Toplam	100.00	3.08	26.49	100.00	3.23		
-0.5 +0.053	Mulu Gravite Separatör	Konsantre	68.35	3.41	17.37	79.21	4.02	5472	0.74
		Artık	31.65	1.58	53.17	20.79	1.06		
		Toplam	100.00	4.99	28.70	100.00	5.08		
-0.053		Şlam		1.78	77.80		0.56		
Besleme Malı				100.00	30.00		100.00	4822	1.58

Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Y verim (%)	Kuru Baz	
				ÜİD* (kcal/kg)	Kütlül (%)
Konsantre	65.56	13.70	80.83	6231	1.15
Ara ürün	7.97	40.57	6.77		
Artık	24.69	66.45	11.84		
Şlam	1.78	77.80	0.56		
Besleme malı	100.00	30.00	100.00	4822	1.58

\*Üst ısı değeri



Şekil 11. Yozgat-Ayrıdam kömürlerinin zenginleştirilmesine yönelik akım şeması

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Ayndam kömürlerinin iri boyutlarda (+50 mm), düşük yoğunluk değerlerinde yıkanabilirliği zordur.

+75 mm'lik kısım elle ayıklama ile zenginleştirme için uygundur. -50 +18, -18 +10 mm'lik kısımlar ağır ortam, -10 +6.3, -6.3 +1.0 mm'lik kısım jig, -1.0 +0.5 mm sarsınulı masa ve -0.5 mm'lik kısım Multi Gravite Separatörle zenginleştirildiğinde en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

-50 mm tane iriliğinde zenginleştirme uygulanan malzemenin büyük bir kısmı (%89.69'u) -50 +1.0 mm tane aralığında olduğundan, yatırım ve işletme giderleri dikkate alındığında, tesis kurma aşamasında bu durumun dikkate alınması gerekir.

Beslenen kömürden %65.56 ağırlık oranında %13.70 kül ve %1.15 kükürt tenorlu temiz kömür (konsantre) üretilmiştir. Bu durumda yanabilir kısmın %80.83'ü kazanılmıştır.

Yozgat-Ayndam kömürlerinden fiziksel yöntemlerle düşük kül (%13-14) ve kükürt (~%1) içerkli konsantreler üretmek mümkün olacaktır.

#### S. KAYNAKLAR

1. 2000'li Yıllara Doğru Linyit Sektörümüz Sempozyumu, Ankara, 14-15 Kasım 1994.
2. ATEŞOK, G., ÖNAL, G., YILDIRIM, I., ACARKAN, N., GÜRKAN, V., ALTAŞ, Keleş ve Saray Bölgesi Kömürlerinin Pilot ölçekli Teknolojik Araştırması, 9. Kömür Kongresi, Zonguldak, 1994.
3. ATEŞOK, G., Kömür Hazırlama, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul, 1986.
4. Coal Preparation, 4th Edition, The American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., New York, 1979.
5. KEMAL, M., Kömür Teknolojisi, D.E.Ü., Müh. Fak. Maden Müh. Böl., İzmir, 1987.
6. SARKAR, G.G. and DAS, H.P., A World Pattern of the Optimum Ash Levels on Cleans from Washability Data of Typical Coal Seams, Fuel., 1974.
7. SEMERKANT, O., ÇOĞUPLUGİL, N., KEMAL, M., ERMİŞOĞLU, N., ERGİN, Z., G.L.t. Tunçbilek Toz Kömürlerinin Optimal Değerlendirilebilme Olanaklarının Araştırılması, 10. Türkiye Madencilik Bilim ve Teknik Kongresi, Ankara, 1987.
8. ÜNLÜ, M., The Washability Characteristics and Washing Possibilities of Turkish Lignites, HI. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, İstanbul, 1990.