



## Garp linyitleri işletmesi (GLİ) Tunçbilek göletlerinde bulunan tesis artıklarının karakterizasyonu

### Characterization of the waste materials in the ponds of western lignite company (WLC) at Tunçbilek

Nezahat Ediz<sup>1,\*</sup>, Sevgi Karaca<sup>2</sup>, Oktay Şahbaz<sup>3</sup>, İ. Göktay Ediz<sup>4</sup>, Ali Uçar<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 43000, Kütahya, Türkiye

#### Özet

Bu çalışmada, Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ)'ne ait şlam göletlerinde bulunan malzemelerin değerlendirilebilirliğinin belirlenmesi ve çevresel sorunlarının önlenmesi için karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan deneyler ile 4 No'lu, Beke-Yörgüç ve 6/C şlam göletlerindeki malzemelerin tane boyut dağılımları, fiziksel, kimyasal (elementel, nem, kül, kükürt, ısı değeri), mineralojik ve termal özellikleri belirlenmiştir. Bu testler hem göletlerdeki malzemelerin orijinal boyutlarında hem de 0.038 mm altındaki boyutlarda yapılmıştır. Elementel analizlerde hem orijinal hem de 0.038 mm altındaki gölet malzemelerindeki majör oksitlerin SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O ve SO<sub>3</sub> olduğu belirlenmiştir. 4 No'lu, Beke-Yörgüç ve 6/C göletlerinin kül içerikleri sırasıyla %68.01, %62.73 ve %59.71 olarak belirlenmiştir. Orijinal ve 0.038 mm altı malzemelerin mineralojik analizleri sonucunda tüm numunelerin kuvars, muskovit/illit, montmorillonit, kristobalit, jips, kaolinit minerallerinden oluştuğu tespit edilmiştir. DTA-TG analizlerine göre ise tüm malzemelerde, 200-400°C arasında organik maddelerin yanma reaksiyonlarının meydana geldiği, 690-750°C arasında ise kömürdeki kükürdün uzaklaştığı belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Karakterizasyon, Kömür, Şlam göleti

#### 1 Giriş

Organik tortul kayaç olan kömür, çoğunlukla minerallerden oluşan inorganik maddeleri ve maseral yapıdaki yanıcı organik maddeleri içerir. Kömür belirli düzeylerde heterojendir. En basit düzeyde, organik ve inorganik fazların bir karışımıdır, ancak kömürün mineral maddesi, oluştuğu bitkinin inorganik bileşenlerinden, diğer organik maddelerden ve kömür yatağına taşınan farklı yapı ve serbestleşme karakteri olan inorganik bileşenlerden meydana gelmiştir [1].

Kömür hazırlama, ham kömürden safsızlıkların (inorganik madde) içeriğini azaltarak değerini yükseltir. Kömür hazırlama işlemleri sırasında kül yapıcı maddeler kömürden tamamen uzaklaştırılmaz, ancak daha düşük inorganik madde içeriğine sahip olan kısım, daha yüksek inorganik madde içeriğine sahip olan kısımdan ayrılır [1].

#### Abstract

In this research, some characterization studies were carried on the samples taken from the waste ponds of Western Lignite Company (WLC) in order to define utilization possibilities and prevent environmental problems of these materials. During the investigation, particle size distribution, physical and chemical properties (elemental analysis, humidity and sulphur content and calorific value) as well as mineralogical and thermal properties of the materials from the waste ponds called Number-4, Beke Yörgüç and 6/C were determined. From the elemental analysis of waste materials made both on the original samples and on the materials below 0.038 mm, it was understood that major oxides were comprised of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O and SO<sub>3</sub>. The ash content of the waste materials was found to be 68.01%, 62.73% and 59.71% for the waste ponds of Number-4, Beke Yörgüç and 6/C, respectively. Mineralogical analysis made showed that both the original samples and the materials below 0.038 mm were comprised of minerals such as quartz, muscovite/illite, montmorillonite, kristobalite, gypsum, kaolinite. DTA-TG analysis also proved that combustion reactions of the organic matters were occurred at 200-400°C while sulphur within the coal was removed at the temperatures of 690-750°C.

**Keywords:** Characterization, Coal, Slime pond

Kömür yıkama yöntemleri iri ve ince boyutlu kömürler için farklıdır. İri ve orta boyutlar için gravite yöntemleri, ince boyutlar için ise genelde flotasyon yöntemi uygulanır [2, 3]. Kömür hazırlamada ince kömür deyiimi 0.5 mm'nin altındaki boyutlar için kullanılırken, (-6+0.5) (-10+0.5) ya da (-18+0.5) mm orta boy ve 6, 10 veya 18 mm'nin üstü ise iri kömür olarak adlandırılır. Kömür yıkama işlemleri tane boyutu yanında kül, kükürt ve nem içeriği gibi etmenlere göre de değişir [4].

Maden ve kömürlerden gang minerallerinin uzaklaştırılması için kurulan cevher hazırlama ve kömür yıkama tesislerinden çıkan atıklar, depolama ve yer sorunu ortaya çıkarmakta ve zamanla çevreye zarar vermektedirler [5]. Kömür endüstrisinin çevreye etkileri madenlerden kömür çıkarma, kömür hazırlama işlemleri, kömür nakliyatı, kömür yakma, atık depolama ve atık bertarafı gibi çeşitli

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: nezahat.ediz@dpu.edu.tr (N. Ediz)

Geliş / Received: 19.11.2020 Kabul / Accepted: 04.03.2021 Yayınlanma / Published: 27.07.2021

doi: 10.28948/ngumuh.826789

aşamalarda görülsede, bu etkileri başlıca iki ana grupta incelemek mümkündür.

1. Kömür madenciliği sırasında oluşan çevresel etkiler: Kömür madenciliği; toprak örtüsünün bozulmasına, yüzey ve yeraltı suları ile içme suyu kaynaklarının kirlenmesine, su ve toprak habitatlarının bozulmasına ve hava kalitesinin olumsuz etkilenmesine neden olan bir faaliyettir.
2. Kömür yıkama (lavvar) ve hazırlama sırasında oluşan çevresel etkiler: Kömür yıkama faaliyetleri sonucu ortaya çıkan artıklardır. Bu artıklardan iri taneli olanlar (coarse tailings) genellikle açıkta yığınlar halinde depolanırken, daha sulu ve ince taneli olanlar atık barajlarına sevk edilmekte veya filtrelenmektedir. Bu artıklar doğal olarak radyoaktif maddeler de içerirler. Ayrıca pirit içermeleri halinde asidik su oluşumuna yol açabilirler. Ayrıca kömür hazırlamada flotasyon ve flokülasyon aşamalarında çeşitli kimyasallar kullanıldığı takdirde, bu atıklarda çevre için sakıncalı olabilecek kirleticiler de bulunabilmektedir.

Sulu ve ince taneli artıklar kimyasal ve zararlı metal içermeleri, ince taneli olmaları, asit maden drenajına neden olmaları, büyük miktarlarda olmaları nedeniyle çok fazla yer işgal etmeleri ve görsel kirlilik yaratmaları nedenleri ile çevre bilincinin her geçen gün arttığı dünyada ve ülkemizde bu atıkların bertaraf edilmesi önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

1993 yılında devreye alınan ve GLİ tarafından işletilen Ömerler ile ülkemizin en eski lavvarlarından biri olan ve özel sektör tarafından işletilen Tunçbilek Lavvarları'nda da uygulanan gravite prosesleri sırasında bu artıklar oluşmaktadır. Ayrıca tesislerin civarlarında daha önceki yıllarda bu artıkların depolandığı iki adet havuz ve iki adet de (4 No'lu ve Beke-Yörgüç Şlam göletleri) açık ocak deposu bulunmaktadır. Tesislerden halen başka bir açık ocak imalat sahasına (6/C) artık şarjı devam etmektedir. GLİ'ye ait göletlerde şimdiye kadar 20 milyon ton şlam birikmiştir ve bu iki lavvardan halen yılda 2.5 milyon m<sup>3</sup> şlam birikmeye devam etmektedir [6].

Kömür yıkama tesisi atıkları ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların genellikle sulu atıklardan kömürün kazanılmasına ve bu atıkların susuzlandırılmasına yönelik olduğu dikkat çekmektedir [7-14].

Kömür yıkama atıklarının değerlendirilmesi ile ilgili yapılmış sınırlı kalmıştır. Sabah [15] Tunçbilek kömür hazırlama tesisi atığının tuğla bünyelerde kullanılabilirliğini araştırdığı çalışmada, referans tuğla kiline farklı oranlarda kömür atığı karıştırmış ve farklı sıcaklıklarda sinterleyerek elde ettiği tuğla bünyelere çeşitli performans testleri uygulamıştır. Deneyler sonucunda 950°C'de sinterlenen, %2.5 kömür atığı katkılı tuğlaların basınç dayanımlarının gözenekliliğinin yüksek olduğu, dolayısıyla hafif yapı elemanı olarak kullanılabilirliğini tespit etmiştir.

İnce [16] GLİ Tunçbilek üretim sahasında 4 No'lu ocak imalat boşluğunda bulunan lavvar atığını (-0.038 µm) tuğla kiline katkı maddesi olarak kullanmıştır. Tuğla kiline farklı oranlarda ilave edilen atık malzeme ile elde edilen bünyeler, farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş ve çeşitli testlere tabi

tutulmuştur. Deneyler sonucunda 1050°C sıcaklıkta sinterlenmiş ve %50 kömür atığı katkılı olan tuğla bünye ile optimum değerler elde edilmiştir.

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu tarafından desteklenen ve proje yürütücülüğü TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kömür yıkama faaliyetleri sonucu oluşan şlam atıklarının alternatif bir hammadde olarak tuğla ve çimento sektöründe değerlendirilebileceği belirtilmiştir [17].

Bu çalışmada, GLİ bünyesinde faaliyet gösteren Lavvar tesislerinin kurulumundan günümüze kadar ortaya çıkan ve değerlendirilebilecek durumda olan tesis artıklarının karakterizasyonu yapılmıştır. Böylece, çevre sorunlarına neden olan bu malzemelerin değerlendirilebilirliğine ışık tutulacaktır.

## 2 Materyal ve metot

Deneylerde kullanılan malzemeler GLİ İşletmesi'ne ait 4 No'lu, Beke-Yörgüç ve 6/C olarak adlandırılan artık göletlerinden alınmıştır (Şekil 1). Artık sahalarından işletme tarafından alınan bu malzemeler DPÜ Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarına getirilmiş ve ayrı ayrı karıştırılarak homojenize edilmiştir. Yaklaşık olarak 400 kg (4 No'lu), 150 kg (Beke-Yörgüç) ve 150 kg (6/C) olan malzemeler, numune bölme işlemleri ile bölünerek deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere depolanmıştır.



Şekil 1. 4 Nolu, Beke-Yörgüç ve 6/C şlam göletleri ve Tunçbilek Lavvarı konumları

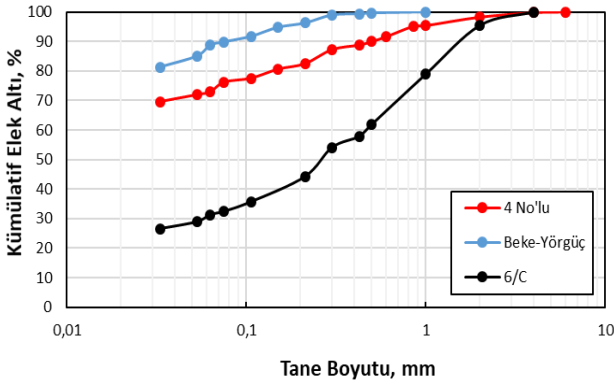
Karakterizasyon çalışmalarında, hem orijinal hem de organik maddelerin daha az bulunduğu 0.038 mm altındaki boyutlarda olan malzeme kullanılmıştır. Bu malzemelerin tane boyut, kimyasal (elementel, nem, kül, kükürt, ısı değer), mineralojik ve termal analizleri yapılmıştır. Göletlerden alınan numunelerin tane boyut analizleri Retsch marka eleklerle, elek dizisi olarak Tyler serisi ve işletmede kullanılan elek açıklıkları baz alınarak yapılmıştır. -0.038 mm numunelerin tane boyut analizleri ise Malvern marka Mastersizer 3000 cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin elementel analizleri PANalytical marka Axios max model XRF cihazı ile yapılmıştır. Nem değerleri Moisture Analyzer AND ML-50 cihazında ölçülmüştür. Kül analizleri Nüve marka kül fırınında, kükürt analizi Leco SC 144 DR cihazında ve kalori ölçümleri IKA WERKE cihazında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin mineralojik

analizleri PANalytical marka ve Empyrean model XRD cihazı ile Cu K $\alpha$  ( $\lambda=1.54\text{\AA}$ ) ışınması kullanılarak  $2\theta=5-70^\circ$  aralığında  $2^\circ/\text{dk}$  çekim hızında yapılmıştır. Numunelerin ısı davranışlarının belirlenmesinde ise SETERAM marka, labsys model TG-DTA cihazı kullanılmıştır. Ölçümler argon gazı ortamında kuru havada  $35-1000^\circ\text{C}$  sıcaklık aralığında  $10^\circ\text{C}/\text{dk}$  ısıtma hızında yapılmıştır.

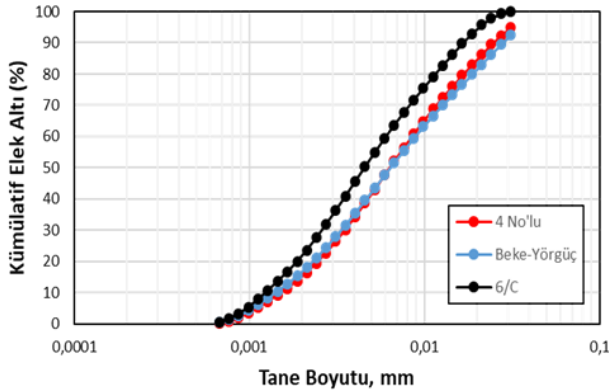
### 3 Bulgular ve tartışma

#### 3.1 Tane boyut analizi

Göletlerden alınan orijinal boyutlardaki numunelerin boyut fraksiyonlarına göre madde miktarı dağılımını belirlemek amacıyla elek analizi çalışmaları yapılmış ve sonuçlar Şekil 2’de verilmiştir.  $0.038\text{ mm}$ ’den ince numunelerin tane boyut analiz sonuçları ise Şekil 3’de verilmiştir. Ayrıca  $0.038\text{ mm}$  altı numunelerin  $d_{10}$ ,  $d_{50}$  ve  $d_{90}$  değerleri Tablo 1’de özetlenmiştir.



Şekil 2. Orijinal boyutlu malzemelerin tane boyut dağılımları



Şekil 3.  $0.038\text{ mm}$  altı malzemelerin tane boyut dağılımları

Şekil 2 incelendiğinde gölet numunelerinin oldukça farklı tane boyut dağılımına sahip olduğu görülmektedir. Örneğin 4 No’lu gölet için en büyük tane boyutu  $4\text{ mm}$ , Beke-Yörgüç göleti için  $0.5\text{ mm}$  ve 6/C göleti için  $2\text{ mm}$  olarak belirlenmiştir. Şekil 3 incelendiğinde ise  $-0.038\text{ mm}$  malzeme oranının da her gölet için az da olsa farklılık gösterdiği görülmektedir.

Tablo 1.  $0.038\text{ mm}$  altı malzemelerin  $d_{10}$ ,  $d_{50}$  ve  $d_{90}$  tane boyut (mm) değerleri

Gölet	$d_{10}$	$d_{50}$	$d_{90}$
4 No’lu	0.00152	0.00634	0.0247
Beke-Yörgüç	0.00141	0.00639	0.0280
6/C	0.00125	0.00455	0.0166

Tablo 1’deki verilerden de, 6/C gölet numunesinin  $0.038\text{ mm}$  altındaki kısmının daha ince ve daha dar tane boyut dağılımına sahip olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu verilerden elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir:

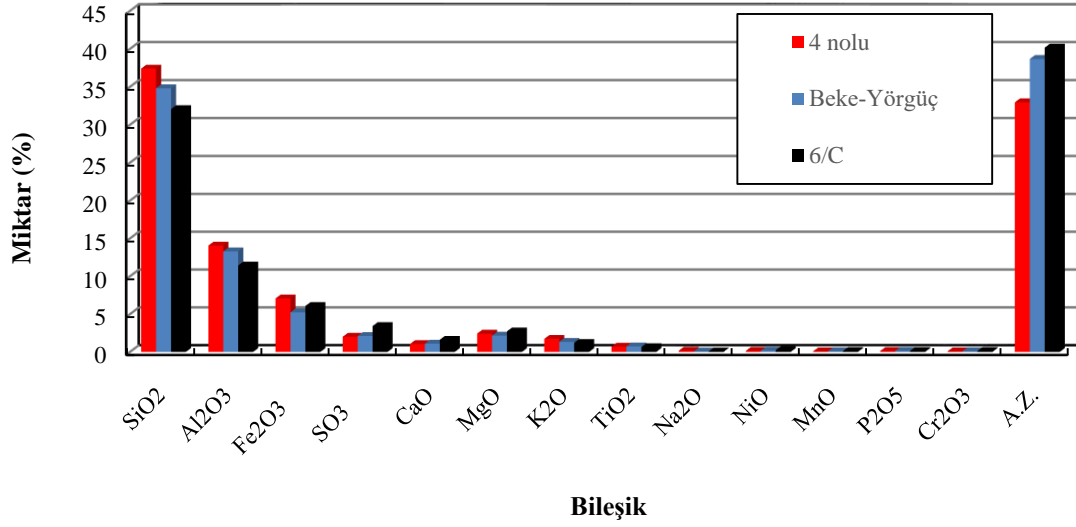
- 4 No’lu gölet numunesinin üst tane boyutu en büyüktür ( $4\text{ mm}$ ). Aynı zamanda ince tane oranı ( $-0.038\text{ mm}$ ) da oldukça yüksektir (%69.55).
- 6/C gölet numunesinin üst tane boyutu daha küçüktür ( $2\text{ mm}$ ). Aynı zamanda ince tane oranı da en düşüktür (%26.52).
- Beke-Yörgüç gölet numunesinin ise hem üst tane boyutu en küçüktür ( $0.5\text{ mm}$ ), hem de ince tane oranı en yüksektir (%81.30). Yani daha dar tane boyut aralığına sahiptir.

#### 3.2 Kimyasal analizler

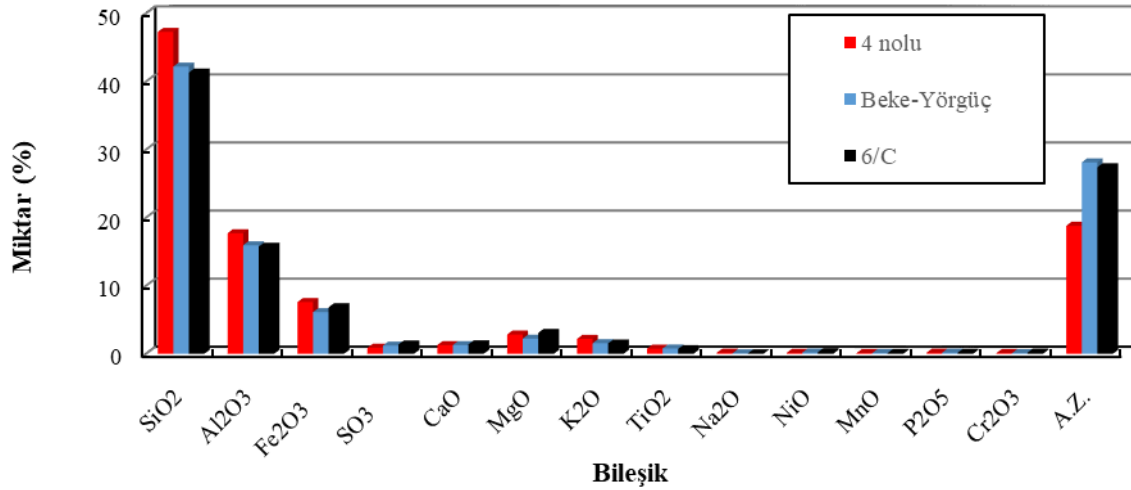
##### 3.2.1 Elementel analiz

4 No’lu, Beke-Yörgüç ve 6/C artık göletlerinden alınan orijinal ve  $0.038\text{ mm}$  altı numunelerin analiz sonuçları sırasıyla Şekil 4 ve 5’de verilmiştir. Şekil 4 ve 5 incelendiğinde her iki grup malzeme için de majör oksitlerin  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\text{SO}_3$  olduğu görülmektedir. Bunların dışındaki  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  oksitlerinin değerleri ise %1’in altındadır.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ’ün yüksek konsantrasyonlarda izlenmesinin nedeninin; silis ve kil minerallerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. En yüksek miktarlarda olan majör oksitlerden  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  göz önüne alındığında (her iki grup malzeme için de) 4 No’lu gölet numunesinde bu oksitlerin en fazla miktarda olduğu görülmektedir.  $\text{SO}_3$  değerleri dikkate alındığında ise en yüksek değere 6/C gölet numunesi sahiptir. Bu sonuç bu numunenin en yüksek kükürt oranına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Orijinal numunelerin ateş zayıtı değerleri incelendiğinde ise yine en yüksek değere 6/C gölet numunesinin sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bunun nedeni de bu gölet numunesinin kül oranının düşük olmasıdır.

Ayrıca kil minerallerinin ana bileşenlerini oluşturan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  gibi oksitlerin oranının  $0.038\text{ mm}$  altındaki malzemelerde arttığı dikkat çekmektedir. Bu sonuç da beklendiği gibi, kil minerallerinin  $0.038\text{ mm}$  altında yoğunlaştığını ve en çok da 4 No’lu gölet numunesinde bulunduğunu göstermektedir. Bu malzemedeki kül oranının en yüksek olması da bu sonucu doğrulamaktadır (Tablo 2).



Şekil 4. Orijinal boyutlu malzemelerin elementel analizi



Şekil 5. 0.038 mm altı malzemelerin elementel analizi

Tablo 2. 4 No'lu gölet numunesinin nem, kül, kükürt ve ısı değerleri

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	ÜİD (Kcal/kg)	AİD (Kcal/kg)	Kükürt (%)	Nem (%)
+4	0.24	27.25	5191	4763	1.07	3.80
-4+2	1.50	24.83	5441	4944	1.16	4.70
-2+1	2.87	20.41	5731	5233	1.19	4.30
-1+0.85	0.24	25.45	5170	4710	1.23	4.30
-0.85+0.6	3.55	22.31	5468	4980	1.24	4.40
-0.6+0.5	1.61	26.00	5260	4803	1.28	4.20
-0.5+0.425	1.23	26.66	5031	4564	1.26	4.60
-0.425+0.3	1.52	33.64	4859	4451	1.20	4.00
-0.3+0.212	4.78	40.04	4519	4133	1.33	4.20
-0.212+0.150	1.86	37.78	4670	4251	1.33	4.60
-0.150+0.106	3.06	47.10	3933	3680	1.43	2.20
-0.106+0.075	1.35	48.03	3358	3086	1.39	3.10
-0.075+0.063	3.33	40.07	3598	3263	1.31	3.90
-0.063+0.053	0.93	50.69	3127	2870	1.12	3.10
-0.053+0.038	2.37	58.81	2531	2333	1.11	2.50
-0.038	69.55	81.91	653	601	0.34	1.70
Toplam	100.00	68.01	1817.66	1665.04	0.62	2.35

**Tablo 3.** Beke-Yörgüç gölet numunesinin nem, kül, kükürt ve ısı değerleri

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	ÜİD (Kcal/kg)	AİD (Kcal/kg)	Kükürt (%)	Nem (%)
+0.5	0.32	9.95	6773	6349	1.11	2.20
-0.5+0.425	0.31	11.18	6563	6136	1.11	3.20
-0.425+0.3	0.39	10.43	6622	6056	1.18	3.50
-0.3+0.212	2.74	10.70	6586	6113	1.06	3.00
-0.212+0.150	1.46	14.09	6492	6052	1.00	2.70
-0.150+0.106	3.07	17.20	5888	5511	0.95	2.10
-0.106+0.075	1.86	23.30	5321	4974	0.92	2.10
-0.075+0.063	1.10	22.10	5304	4936	0.94	2.40
-0.063+0.053	3.70	27.03	5164	4798	0.95	2.70
-0.053+0.038	3.74	37.74	4285	4006	0.87	2.00
-0.038	81.30	71.96	1257	1151	0.39	1.30
Toplam	100.00	62.73	2054.98	1898.44	0.50	1.51

**Tablo 4.** 6/C gölet numunesinin nem, kül, kükürt ve ısı değerleri

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	ÜİD (Kcal/kg)	AİD (Kcal/kg)	Kükürt (%)	Nem (%)
+2	4.54	61.29	2347	2201	6.33	1.1
-2+1	16.50	62.13	2176	2021	3.27	1.6
-1+0.5	17.04	49.45	2533	2332	4.32	1.7
-0.5+0.425	4.12	48.61	2769	2568	5.98	1.5
-0.425+0.3	3.73	43.48	2643	2420	3.88	1.8
-0.3+0.212	9.87	54.35	2805	2614	3.28	1.7
-0.212+0.106	8.56	52.18	3058	2839	2.19	2.2
-0.106+0.075	3.24	57.33	3018	2814	2.46	2.2
-0.075+0.063	1.14	56.32	2934	2740	2.4	1.9
-0.063+0.053	2.38	51.30	3195	2970	2.12	2.2
-0.053+0.038	2.35	58.77	2547	2370	2.17	1.8
-0.038	26.52	74.25	1041	939	0.69	1.6
Toplam	100.00	59.71	2191.94	2025.88	2.86	1.70

**Tablo 5.** Orijinal ve +0.038 mm boyutlu malzemelerin nem, kül, kükürt ve kalori değerleri

Tane Boyutu (mm)	Nem (%)		Kül (%)		Kükürt (%)		ÜİD (Kcal/kg)		AİD (Kcal/kg)	
	Orijinal	+0.038 mm	Orijinal	+0.038 mm	Orijinal	+0.038 mm	Orijinal	+0.038 mm	Orijinal	+0.038 mm
4 No'lu	2.35	3.84	68.01	36.27	0.62	1.27	1818	4478	1165	4095
Beke-Yörgüç	1.51	2.44	62.73	22.59	0.50	0.96	2055	5525	1898	5148
6/C	1.70	1.74	59.71	54.47	2.86	3.64	2192	2607	2026	2418

Tablo 5'den orijinal malzemelerin kül değerleri karşılaştırıldığında en yüksek kül değerine 4 No'lu göletin sahip olduğu görülmektedir. 0.038 mm üstü malzemelerin kül değerleri incelendiğinde ise, en yüksek kül değerine 6/C göletinin sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak bu malzemede 0.038 mm altına geçen kısmın (killi kısmın) azlığı gösterilebilir (Şekil 2). Yani kilin büyük bir bölümü 0.038 mm üzerinde kalmış, bu da kül miktarını artırmıştır. 4 No'lu gölet malzemesinde kül değeri en yüksek olmasına rağmen 0.038 mm elekten elendikten sonra kilin büyük bir bölümü elek altına geçmiş ve bu da kül miktarını düşürmüştür. Beke-Yörgüç göletinde ise bu durum daha belirgin olarak görülmektedir. Yani -0.038 mm malzeme oranı yaklaşık %80'dir (Şekil 2) ve bu da +0.038 mm malzemesindeki kül değerinin %22.59'a kadar düşmesine neden olmuştur. Aynı zamanda toplam kül değerlerinin, elementel analizlerden elde edilen kızdırma kaybı değerleri ile de örtüştüğü görülmektedir (Şekil 4 ve 5).

Tablo 5'den orijinal boyutlu malzemelerin ısı değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek ısı değere 6/C göletinin sahip olduğu görülmektedir. +0.038 mm malzemelerin ısı değerlerine bakıldığında ise 4 No'lu göletin ısı değeri en

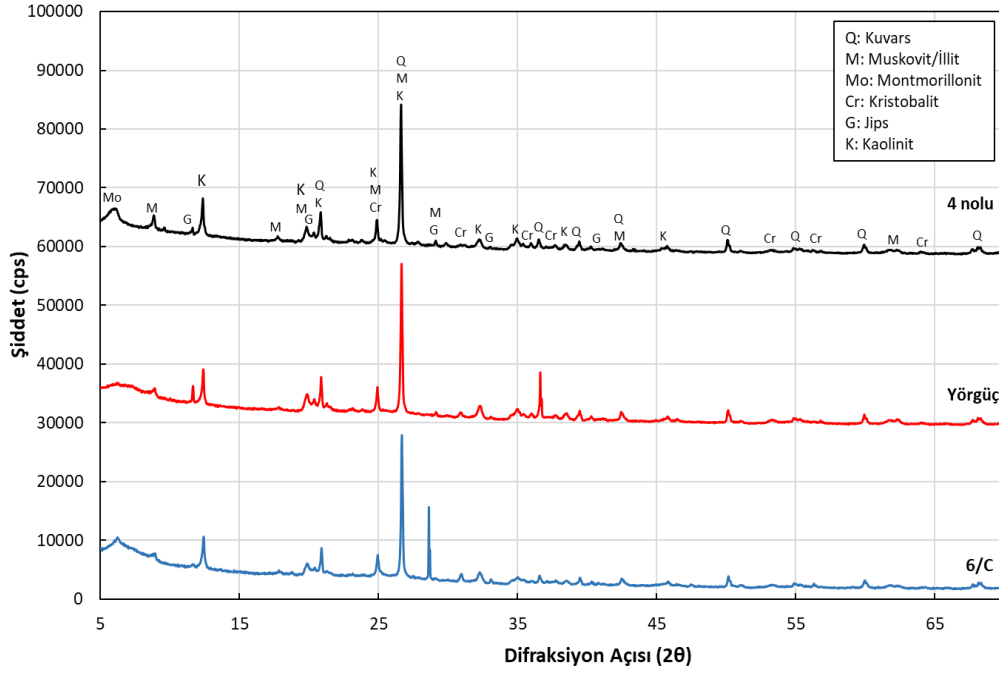
düşük olmasına rağmen kül oranındaki azalışa bağlı olarak ısı değerinin önemli oranda arttığı dikkat çekmektedir. En düşük kül oranına sahip olan Beke-Yörgüç göletinin +0.038 mm boyutlu kısmı ise en yüksek ısı değerlere sahip olmuştur.

Yine Tablo 5'den en yüksek toplam kükürt değerinin 6/C göleti numunelerinden (orijinal ve +0.038 mm) elde edildiği dikkat çekmektedir. Aynı zamanda bu sonuçların, elementel analizden elde edilen kükürt değerleri ile de uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 4 ve 5).

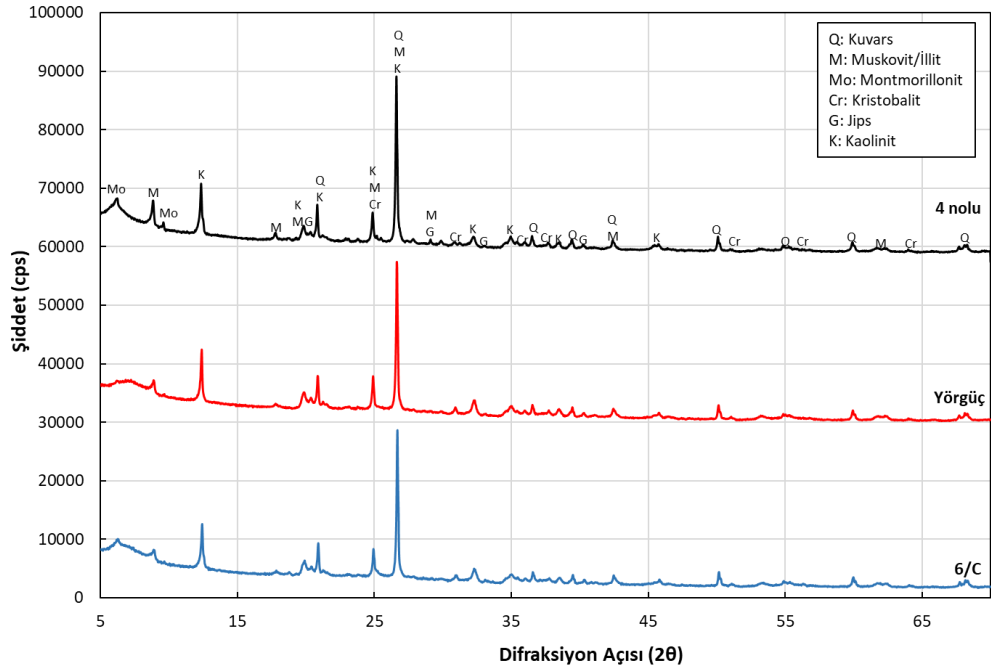
### 3.2.2 Mineralojik analiz

Göletlerden alınan numunelerin mineralojik bileşimlerinin belirlenmesi amacıyla XRD analizleri yapılmıştır. Orijinal malzemelerinin ve -0.038 mm boyutlu malzemelerin XRD paternleri sırasıyla Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.

Şekil 6 ve 7 incelendiğinde hem orijinal hem de 0.038 mm altı malzemelerde tanımlanan başlıca minerallerin kuvars, muskovit/illit, montmorillonit, kristobalit, kaolinit ve jips olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Orijinal boyutlu malzemelerin XRD paternleri



Şekil 7. 0.038 mm altı malzemelerin XRD paternleri

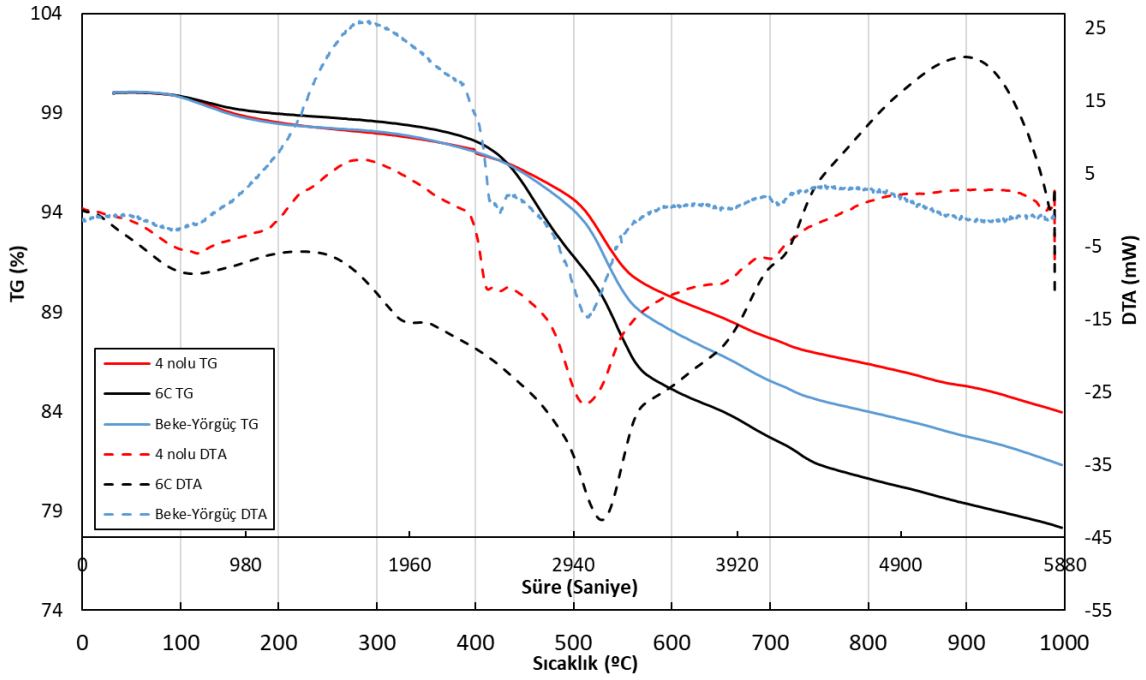
### 3.2.3 Termal analiz

Gölet numunelerinin TG-DTA analiz sonuçları Şekil 8 ve 9'da verilmiştir.

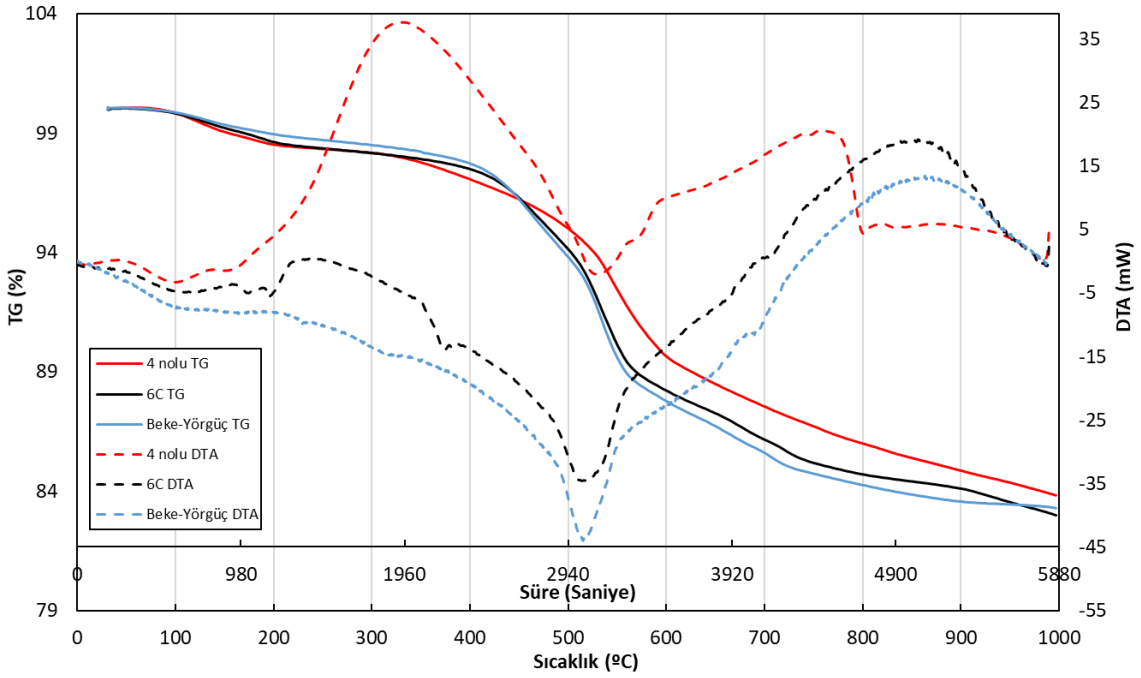
Şekil 8 ve 9'dan TG eğrileri incelendiğinde tüm gölet malzemelerinde 200 °C'ye kadar yaklaşık %1-1.7 arasındaki oranlarda bir ağırlık kaybının olduğu görülmektedir. Bu kayıplar artıklardaki ortam neminin uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. 300-600 °C arasında yaklaşık %7-10 oranlarında büyük ağırlık kayıpları izlenmektedir. Bu da

artıklardaki organiklerin ve killerde bulunan kristal suların uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. 600 °C'den sonra hala ağırlık kayıplarının devam ettiği fakat daha az olduğu görülmektedir. Bu da bu sıcaklıktan sonra organik madde uzaklaşmasının devam ettiğini göstermektedir.

DTA eğrileri incelendiğinde ise 200-400 °C arasında tüm numunelerde ekzotermik pikler olduğu görülmektedir. Bu durum organik maddelerin yanma reaksiyonlarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 8. Orijinal boyutlu malzemelerin TG-DTA analiz sonuçları



Şekil 9. 0.038 mm altı malzemelerin TG-DTA analiz sonuçları

500-550 °C'ler arasında ise endotermik pikler oluşmaktadır. Bu durum da kil minerallerinin kristal sularının uzaklaşmasının bir sonucudur. 690-750 °C'ler arasında küçük endotermik pikler görülmektedir. Bunun da kömürdeki kükürdün uzaklaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 800-900 °C arasında ise büyük ve geniş ekzotermik pikler gözlenmektedir. Bu durum kil minerallerinin kristal yapılarındaki düzenlenme nedeniyle oluşmaktadır. Bu sıcaklıktan sonra kristalleşme

tamamlanmakta ve tekrar ısı olarak malzeme erime eğilimine girmektedir.

#### 4 Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada GLİ (Kütahya) bünyesinde faaliyet gösteren Tunçbilek ve Ömerler lavvar tesislerinden açığa çıkan ve imalatı yapılmış açık ocak çukurlarında depolanmış bulunan, 4 No'lu, Beke-Yörgüç ve 6/C olarak adlandırılan

şlam artıklarının karakterizasyonunun belirlenmesine çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Numunelerin elek analizi sonuçlarına göre; 4 No'lu göletin en büyük tane boyutu 4 mm, 6/C gölet numunesinin 2 mm ve Beke-Yörgüç gölet malzemesinin ise 0.5 mm olduğu saptanmıştır. 0.038 mm altı malzeme oranı 4 No'lu gölet şlamında %69.55, Beke-Yörgüç gölet şlamında %81.30 iken 6/C gölet şlamının %26.52 olduğu belirlenmiştir. 0.038 mm altı malzemenin boyut dağılımına göre ise 6/C gölet numunesinin daha ince tane boyut dağılımına sahip olduğu belirlenmiştir.
- Numunelerin elementel analizlerine göre majör oksitlerin SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O ve SO<sub>3</sub> olduğu belirlenmiştir.
- Numunelerin kül değerlerinin yüksek, kalori değerlerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. 0.038 mm'den daha iri boyutlarda kükürt değerlerinin ise daha fazla olduğu belirlenmiştir.
- Orijinal numune ve 0.038 mm altı tüm numunelerin kuvars, muskovit/illit, montmorillonit, kristobalit, jips, kaolinit minerallerinden oluştuğu tespit edilmiştir.
- DTA-TG analiz sonuçlarına göre, tüm malzemelerde sıcaklığın artmasıyla uçucu maddeler ve kömür yanması başlamış ve bu durum 800 °C'ye kadar devam etmiştir. 690-750 °C arasında ise kömürdeki kükürdün uzaklaştığı belirlenmiştir.
- 0.038 mm'den daha iri boyutlu artık malzemelerde önemli oranda kömür bulunduğu ve bu kömürün kazanılarak ekonomik kayıpların önlenebileceği tespit edilmiştir.
- 0.038 mm'den daha ince boyutlu artık malzemelerin ise (özellikle 4 No'lu ve Beke-Yörgüç atıklarının daha fazla ince tane ve daha az kükürt içermeleri nedeniyle) tuğla-kiremit ve kaplama malzemesi üretiminde hammadde olarak kullanılabilirliği ortaya çıkmıştır. 6/C gölet malzemesinin yüksek oranda kükürt içermesi, gözenekli ve hafif yapı malzemesi üretiminde avantaj sağlayacaktır.
- Bu artık malzemelerin tuğla-kiremit, kaplama, terracotta ve çimento sektörlerinde kullanılmasıyla hem çevresel sorunlar büyük ölçüde önlenecek hem de bu malzemelere katma değer kazandırılacaktır.
- İleride yapılacak çalışmalarda, renk probleminin tolere edilebileceği seramik bünye üretiminde, 4 No'lu ve Beke-Yörgüç atıklarının kullanılabilirliği araştırılarak bu atıkların değerlendirilme alanı genişletilebilir.

#### Teşekkür

Bu çalışmada katkılarından dolayı Türkiye Kömür İşletmeleri Garp Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü yetkililerine teşekkür ederiz.

#### Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

**Benzerlik oranı (iThenticate): %11**

#### Kaynaklar

- [1] R. A. Meyers, J. S. Laskowski, and A. D. Walters, Coal Preparation. in: Encyclopedia of physical science and technology. R. A. Meyers (Eds.), Academic Press, pp. 277, California, 2001.
- [2] G. F. Meenan, Modern Coal Flotation Practices. In: Advances in Flotation Technology. Parekh and Miller (Eds.), SME, pp. 309-321, Denver, 1999.
- [3] A. Güney, G. Ateşok, G. Önal ve A. Altaş, Kömür Zenginleştirme Teknolojisindeki Yenilikler. in: III. Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri Kitabı. Önal ve Ateşok (Ed.), Yurt Madenciligi Geliştirme Vakfı Yayınları, sayfa 270-282, İstanbul, 1996.
- [4] B. J. Arnold, Rate and Residence Time Studies Applied to the Operation of Conventional Coal Froth Flotation Cells. In: Advances In Flotation Technology. Parekh and Miller (Eds.), SME, pp. 321-331, Denver, 1999.
- [5] İ. Kafadar, Açık işletmelerde toprak ve çevre tahribi ile arazinin yeniden düzenlenmesi. Türkiye 8. Kömür Kongresi, sayfa 552-560, Zonguldak, Türkiye, 22-23 Şubat 1992.
- [6] Garp Linyitleri İşletmesi Komisyonu, Şlam Değerlendirme Komisyon Raporu. Garp Linyitleri İşletmesi, Kütahya, Türkiye, Teknik Rapor, 15 Eylül 2017.
- [7] F. S. Karaoğuz, Kömür hazırlama tesis atıklarının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2017.
- [8] H. Çiftçi ve S. Işık, İnce boyutlu lavvar tesisi atıklarının anyonik flokülantlar ile susuzlandırılmasında çeşitli parametrelerin etkisi. AKÜ FEMÜBİD, 16, 391-398, 2016. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/652464>
- [9] İ. Bentli, Kömür lavvar tesisi atıkların flokülasyonunda inorganik elektrolitlerin etkisi. Ekoloji, 19 (76), 71-77, 2010. <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2010.768>
- [10] M. F. Eskibalci ve M. F. Özkan, Kömür hazırlama tesis artıklarının koagülasyon ile susuzlandırılmasında farklı koagülant tiplerinin etkisinin araştırılması. BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 21(1), 43-52, 2019. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/657890>
- [11] M. Karaoğlu, TKİ Alpagut-Dodurga linyitleri işletmesi şlamlarından kömürün kazanılması. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 1999.
- [12] N. T. Sayın, Tesis atığından kömür kazanımının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2019.
- [13] Ö. Yaşar, T. Uslu and E. Şahinoğlu, Recovery of fine coals from tailings of Tunçbilek coal washery by oil agglomeration (Preliminary study). 15th International Mineral Processing Symposium, 985-992, İstanbul, Türkiye, 19-21 Ekim 2016.
- [14] S. Özgen, Z. Arsoy, B. Ersoy ve H. Çiftçi, Lavvar tesisi tikiner atığından kömürün geri kazanımı. DÜMF Mühendislik Dergisi, 10(2), 663-674, 2019. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/738438>



- [15] E. Sabah, Kil İçerikli Kömür Hazırlama Tesisi Atıklarından Temiz Kömür Üretimi ve Atık Kilin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. TÜBİTAK, MAG-1041080, 2005.
- [16] A. S. İnce, Tuğla bünyesinde kömür artığı ve bor kullanımının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2019.
- [17] TÜBİTAK MAM, Tunçbilek lavvarı şlam atıklarının tuğla ve çimento üretiminde hammadde olarak değerlendirilmesi. <https://me.mam.tubitak.gov.tr/tr/haber/tuncbilek-lavvari-slam-atiklarinin-tugla-ve-cimento-uretiminde-hammadde-olarak>, Erişim 01.02.2021

