

# **XI. ULUSAL KİL SEMPOZYUMU**

**3-6 Eylül 2003**

**İZMİR**

## **BİLDİRİLER KİTABI**

**Editörler**

**Doç. Dr. Saadet Yapar**

**Uzman Hatice Yılmaz**

# **BİLİM KURULU**

Prof. Dr. Ali AKAR	Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Ünal ALTINBAŞ	Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Toprak Bölümü
Dr. Aydın ARAS	M.T.A Genel Müdürlüğü
Prof. Dr. Devrim BALKÖSE	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümü
Doç. Dr. Nurgün BEŞÜN	Ege Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Cemil CANGIR	Trakya Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Toprak Bölümü
Prof. Dr. Ayla ÇALIMLI	Ankara Üniversitesi. Kimya Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Feyza ÇİNİCIOĞLU	İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Sevim ÇİZER	Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi. Seramik Bölümü
Y. Doç. Dr. Mümtaz ÇOLAK	Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Ömer Işık ECE	İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. İsmail GIRGIN	Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Aytaç SAYGIN GÜMÜŞKESEN	Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Gönül GÜNDÜZ	Ege Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Nurfer GÜNGÖR	İstanbul Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi. Fizik Bölümü
Prof. Dr. Ahmet GÜRSES	Atatürk Üniversitesi K.K.E.F. Kimya Eğitimi ABD
Prof. Dr. Cahit HELVACI	Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Prof. Dr. Muazzez ÇELİK KARAKAYA	Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Arif Şen KAYALAR	Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Yalçın KOCA	Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Uğur KÖKTÜRK	Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü
Dr. Kemal KÖSEOĞLU	Ege Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu, Seramik Bölümü
Y. Doç. Dr. Fehime ÖZKAN	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Sümer PEKER	Ege Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü
Doç. Dr. Coşkun SARI	Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Bölümü
Prof. Dr. Yüksel SARIKAYA	Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Kimya Bölümü
Dr. Ali SAYIN	M.T.A. Genel Müdürlüğü
Prof. Dr. Abidin TEMEL	Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Necdet TÜRK	Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Asuman TÜRKMENOĞLU	Orta Doğu Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Mehmet ULUÇAYLI	Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Reşat ULUSAY	Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Hüseyin YALÇIN	Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Recep YANIK	Ege Üniversitesi Fen Fakültesi, Fizik Bölümü
Doç. Dr. Saadet YAPAR	Ege Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Zeliha METE YAYLA	Dokuz Eylül Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Kimya Bölümü
Uzman Hatice YILMAZ	Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü
Doç. Dr. Recep YILMAZ	Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Hayrettin YÜCEL	Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü

Kil Tabanlı Seramik Üretiminde Mineralojinin Yeri ve Önemi .....	93
<i>Aydın Aras</i>	
Zigana Dasidik Kayaçlarında Hidrotermal Alterasyon Sonucu Oluşan Kil Minerallerinin Özellikleri.....	99
<i>Ferkan Sipahi, M.Burhan Sadıklar</i>	
Düvertepe ( Sındırgı, Balıkesir) Kaolinlerinde Silika Polimorflarının Araştırılması .....	109
<i>Sibel Kahraman, Yiğit Sarıkaya, Müşerref Önal, Tülay Alemdaroğlu , İhsan Bozdoğan</i>	
Ege Bölgesi Topraklarında Kil Mineralleri ve Niceliği.....	115
<i>Ünal Altınbaş</i>	
C <sub>14</sub> - ve C <sub>16</sub> - Montmorillonitin Sulu Ortamdan Fenol Uzaklaştırılmasında Kullanımı .....	125
<i>Neval Yılmaz, Saadet Yapar</i>	
Kağıt Endüstrisi Atık Sularından Lignin ve Fenolün Sepiyolit Minerali ile Giderimi .....	135
<i>Mehmet Uğurlu, Ahmet Gürses, Mehmet Yalçın, Çetin Doğar</i>	
Kil/ Su Ara Yüzeyinde Bazı Yüzey Aktif Maddelerin Adsorpsiyonu.....	145
<i>Ahmet Gürses, Semra Karaca, Mehmet Yalçın, Çetin Doğar,Ramis Bayrak, Metin Açıkyıldız</i>	
Kil Su Ara Yüzeyinde Metilen Mavisi Adsorpsyonunun Bazı Adsorpsyon Modellerine Uygulanabilirliğinin İncelenmesi .....	153
<i>Ahmet Gürses, Semra Karaca, Mehmet Yalçın, Çetin Doğar,Ramis Bayrak, Metin Açıkyıldız</i>	
Tunçbilek Kömür Hazırlama Tesisi, Kil İçerikli Atıkların Özelliklerinin İncelenmesi .....	163
<i>Mustafa Yavuz Çelik, Eyüp Sabah, M. Sabri Çelik</i>	
Sert Kaolinlerin Zenginleştirilmesinde Öğütme Sonrası Mekanik Dağıtma ve Sınıflandırma Parametrelerinin Etkisi .....	175
<i>Zehra E. Erkan, Ufuk Malayoğlu, Tayfun Çiçek, Eyüp Sabah</i>	
Vitrifiye Çamurunda Kullanan Seramik Hammaddelerinin Tane Dağılımlarının Pişme Öncesi ve Sonrası Mekanik Değişimlerinin Araştırılması .....	183
<i>Mustafa Yılmaz, Mehmet Tanrıverdi</i>	
Etibor A.Ş. İşletmesi Hisarcık Bölgesi Kolemanit Tesisi 3 mm Elek Altından .....	191
Alınan Bor Cevherinin Hidrosiklonla Zenginleştirilmesi	
<i>Ahmet Yamık, Mustafa Çınar, Uğur Demir, O. Şahbaz</i>	

## **TUNÇBİLEK KÖMÜR HAZIRLAMA TESİSİ, KİL İÇERİKLİ ATIKLARININ KAREKTERİZASYONU**

THE CHARACTERIZATION OF TUNÇBİLEK COAL PREPARATION PLANT TAILINGS INCLUDING CLAY

**M.Y.Çelik<sup>1</sup>, E.Sabah<sup>2</sup>, M.S.Çelik<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu 03200 Afyon

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü 03200 Afyon

<sup>3</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı 80626 İstanbul

e-posta: mycelik@hotmail.com, esabah@aku.edu.tr, mcelik@itu.edu.tr

### **ÖZET**

Bu çalışmada, Tunçbilek Kömür Hazırlama Tesisi atık suyunda bulunan organik ve inorganik kökenli safsızlıkların karakterizasyonu, jeolojik bulgular desteğiinde çeşitli analiz teknikleri kullanılarak yapılmıştır. Bunun için mikroskop incelemeleri, mineralojik analizler, termal (DTA-TGA) analizler, kimyasal analizler, karbon-kükürt ve kül analizleri ve tane boyutu analiz teknikleri kullanılmıştır. XRD bulguları tesis atığının başlıca kuvars, kaolenit, illit, muskovit ve kaolenit-montmorillonit mineralleri içerdığını göstermiştir. Tamamı 0,180 mm altında yer alan tesis atığının % 28'i kil, % 62'si silt ve %10'u ise kum boyutundadır. XRD verileri desteğiinde kimyasal analiz sonuçlarına göre, orijinal atık teorik olarak %25 civarında kil mineralleri (illit, kaolinit), %22 civarında muskovit ve %23 oranında kuvars içtiyor olmaktadır. Kömür oranı ise %20 dolaylarındadır.

**Anahtar Sözcükler:** Kömür; kömür hazırlama tesisi atık suyu; kil;

### **ABSTRACT**

In this work, characterization of organic extraction impurities of waste waters of Tunçbilek coal processing plant was done by instrumental analysis techniques. For this end, the samples taken from the waste waters of the plant were subjected to microscopic, mineralogical, chemical and thermal (DTA-TG) analyses. In addition to the particle size, sulphur and ash content of the samples were also determined. It was found that the samples mainly contain quartz, kaolinite, illite, muscovite and kaolinite-montmorillonite minerals. The size of solid particles are less than 0.180 mm and 28% of it has clay size, 62% silt size, and 10 % sand size. Basing on the obtained data and XRD results, the original waste contains clay minerals around 25 % (illite, kaolinite), muscovite 22% and quartz 23%. The coal content is about 20%.

**Key Words:** Coal, coal treatment unit, waste water, clay

## GİRİŞ

Ocaklardan çıkarılan kömürler, çeşitli boyutlarda kömür tanelerinin yanı sıra, çeşitli cins ve miktarlarda kömür dışı inorganik maddeler de içermektedir. Tüvanan kömürde bulunan kömür dışı maddeler, kömür damarı içerisinde bulunan ve jeolojik yapıdan kaynaklanan mineral maddeler (kuvars, kıl mineralleri, karbonat mineralleri, sülfür mineralleri vb) olabileceği gibi kömürün kazılması sırasında dışarıdan kömüre karışan yabancı maddeler de olabilmektedir. Gerek endüstrinin istediği özelliklerde, gerekse hava kirliliği yaratmayan düşük kül ve kükürt içerikli kömür üretimi için kömür içerisinde yer alan bu safsızlıkların giderilmesi gerekmektedir. Bu amaç için kömür hazırlama tesislerinde, belirli boyuta indirilen kömürler yıkanarak mevcut tane boyutundaki serbestleşmiş mineral maddeler kömürlerden uzaklaştırılmaktadır.

Türkiye'nin yıkanabilme özelliğine sahip olan birkaç kömür yatağından birisi de Tunçbilek bölgesi kömürleridir. Bölgede yataklanan kömür damarları içerisinde değişik kalınlıklarda ara kesme (kıl tabakaları) bulunmaktadır. Kömür damarı içerisinde ara kesme miktarı az ve ortalama 2500 kCal/kg kalori değeri üzerinde olan kısımlar, kriblaj tesisine verilerek doğrudan satışa sunulmaktadır. Ara kesme miktarı fazla ve ortalama 2500 kCal/kg kalori değeri üzerinde olan kısımlar ise termik santral ve lavvarlara verilerek değerlendirilmektedir.

Kömür üretimi sırasında selektif olarak ayrılamayan ince kıl bantları ve kömür içerisinde primer ve sekonder olarak oluşan inorganik maddeler kömür yıkama tesisinde kömürden uzaklaştırılarak tikiner tankında çöktürülmemekte ve temiz su tekrar kullanılmak üzere tesise verilmektedir. Çeşitli reaktifler kullanılarak çöktürülen katı kısım, pompalar yardımıyla atık barajına basılmaktadır.

Flokülasyon tekniği ile susuzlaştırma esnasında kullanılacak reaktifin tipi ve miktarı, atıksu içerisinde bulunan mineral maddelerin cinsi ve miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Sistemin destabilizasyonu ve çöktürme işleminin efektif ve ekonomik bir şekilde yapılması, atıksudaki mineral maddelerin içeriğinin ve bileşiminin tam olarak bilinmesi ile mümkün olabilmektedir. Flokülasyon testleri öncesi yapılan bu çalışmada Tunçbilek Kömür Hazırlama Tesisi atık suyunda bulunan organik ve inorganik kökenli safsızlıkların içeriğinin ve bileşiminin tam olarak ortaya konulması hedeflenmiştir. Bunun için çeşitli enstrümantal analiz teknikleri kullanılarak kıl içerikli atığın karakterizasyonu yapılmıştır.

## TUNÇBİLEK KÖMÜR HAVZASININ JEOLOJİSİ

Tunçbilek kömür havzasında temel kayaçları, Mesozoyik yaşı ultrabazik kayaçlar oluşturmaktadır. Ultrabazik kayaçlar yer yer serpentinleşmiş olup, radyolarit ile karışık olarak bulunmaktadır.

Temel kayaçlar üzerine uyumsuz olarak Miyosen yaşı çökeller gelmektedir. Miyosen birimleri, yer yer gevşek olan kumtaşı ve konglomera seviyesi ile başlar. Ardalanmalı olan kumtaşı ve konglomeralar genellikle serpentin, kuvars ve kireçtaşçı çakılları içermektedir. Bunun üzerine uyumlu olarak genellikle marn, killi marn, siltli marn, silttaşlı, kumtaşı ardalanmasından oluşan birim gelmektedir. Bu birimin alt seviyeleri bol bitki kalıntısı

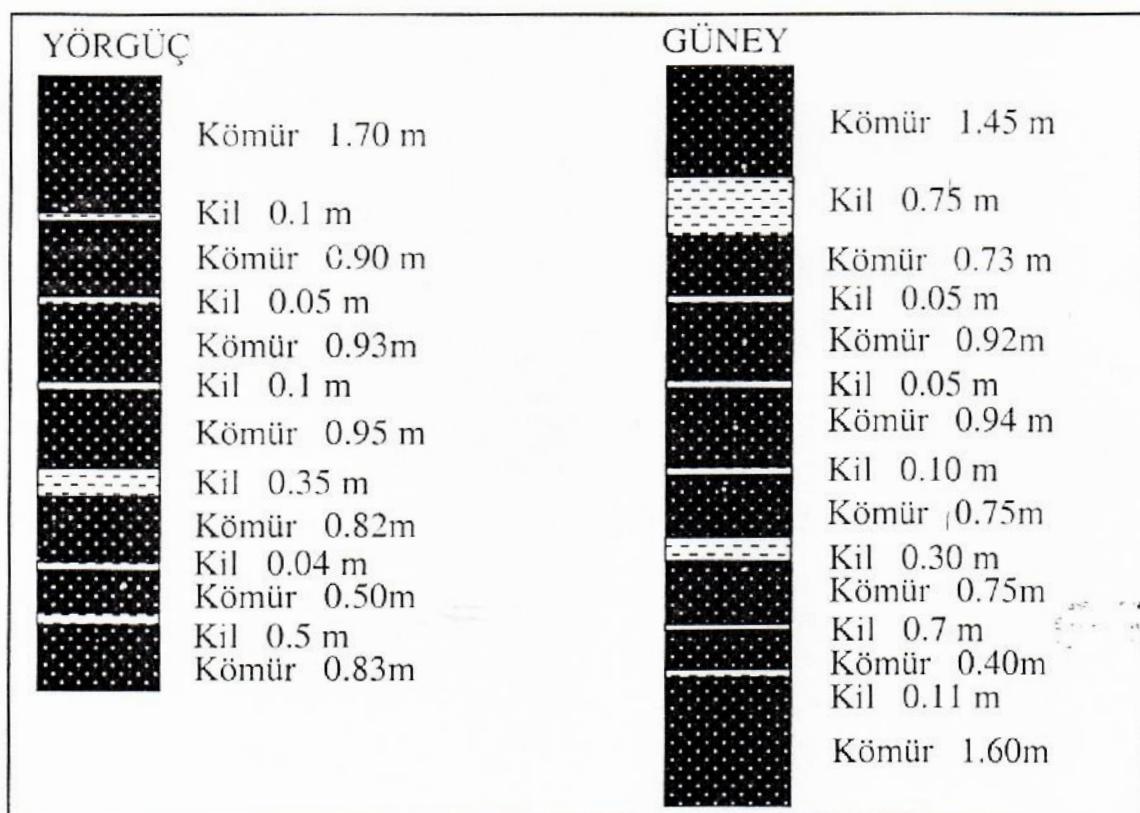
icermeye olup ekonomik linyit damarı burada bulunmaktadır. Miyosen'in en üst seviyesi ise genellikle kireçtaşı ve silisifiye kireçtaşından oluşmuştur. Yer yer marn ve kil ara katkılı olup yer yer de ekonomik olmayan kömür damarı içermektedir (Gökmen vd., 1993).

Tunçbilek kömür havzasında Pliyosen, tüflerle temsil edilmekte olup çok geniş alanlar kaplamaktadır. Yer yer çakıllı tüfit ve aglomera karakteri göstermektedir. Bunları üzerine ise kuvaterner yaşılı alüvyonlar gelmektedir.

### Tunçbilek Havzası Kömür Damarı Özellikleri

Miyosen yaşılı Tunçbilek kömürlerinde ortalama kömür tabakası kalınlığı 8 m civarındadır. Kömür tabakası içerisinde, kalınlığı 5 cm ile 75 cm arasında değişen çok sayıda kil tabakası yer almaktadır. Yörguç ve Güney panolarında görülen damar stampı Şekil 1'de verilmiştir. Damar stampında görülen inorganik mineral maddeler içeren bu ince kil damarları, kömürü kazılması ve ardından yıkamasıyla kömürden uzaklaştırılan atık maddelere karışmaktadır.

Tunçbilek havzası kömürleri ile ara tabakalı killerin mineralojik incelenmesi, Güngör ve Türkmenoğlu (1993) tarafından X ışınları toz kırınım (XRD) ve tarama elektron mikroskop analizleri (SEM) ile yapılmıştır. Bu çalışmada başlıca kil mineralleri olarak kaolenit ve smektit, daha az miktarda ise illit belirlenmiştir. Kil mineralleri dışında ise kuvars, serisit, biyotit, ortoklaz ve plajiolas minerallerine rastlanmıştır. Güngör ve Türkmenoğlu (1993) tarafından yapılan bu çalışmada tespit edilen minerallerin bir kısmı kömür yıkama atıklar içerisinde görülememiştir. Kömürlerle ara katkılı olan kil tabakalarının tamamının lavvara gelip gelmediği ve söz konusu analizlerin hangi damarlarda yapıldığı bilinemediği için analiz sonuçlarının karşılaştırmak mümkün olamamıştır.



Şekil 1. Tunçbilek bölgesi Beke ve Yörguç panoları kömür stampı (Atakuru vd., 1994).

## DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### Malzeme ve Yöntem

Deneyselde kullanılan tesis atıksuyu, Garp Linyitleri İşletmesi (G.L.İ) Tunçbilek Kömür Hazırlama Tesisi'nden alınmış ve 50'şer kg'luk dört ayrı bidona konularak deneylerin yapıldığı laboratuvara getirilmiştir. Atıksuda bulunan maddelerin birbirleri ile reaksiyon verebileceği, böylelikle atıksuyun kimyasal ve fiziksel özelliklerinde büyük değişiklikler olabileceği dikkate alınarak deneylere hemen başlanmıştır.

Süspansiyon halindeki kömürlü atık suyun bünyesindeki kömürü büyük ölçüde uzaklaştırmak ve kömüre eşlik eden inorganik maddeleri belirleyebilmek amacıyla sulu atık 0,045 mm'lik elekten (ASTM, 325 mesh) geçirilmiştir. Bu işlemi müteakip orijinal atık, elek üstü ve elek üstü fraksiyonlar 105°C sıcaklıkta sabit tartıma gelene kadar kurutularak analize hazır hale getirilmiştir.

Karakterizasyon için yapılan çalışmalarda, testisten getirilen -0,180 mm orijinal atık ve büyük ölçüde organik maddelerden arındırılmış 0,045 mm altı atığa bir dizi kalitatif (mikroskop incelemeleri, mineralojik analizler) ve kantitatif (termal DTA-TGA analizler, karbon-kükürt, kül analizleri, kimyasal analizler ve tane boyutu abninizleri) analiz teknikleri uygulanmış, elde edilen sonuçlar ve detaylar ayrı ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

## SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

### Mikroskop İncelemeleri

Tunçbilek Kömür Hazırlama Tesisi atıklarının, kömür ve mineral madde içeriğini belirlemek amacıyla mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Kil minerallerinin optik mikroskop incelemelerinde tanımlamaları genellikle yetersizdir. Bu nedenle kil minerallerinin tanımlamaları X ışınları difraksiyon analizi ile yapılmıştır.

Kuru (taneli toz halinde) ve sulu orijinal örneklerde yapılan optik gözlemlerde değişik boyutlu kömür taneleri kolaylıkla tanımlanabilmiş, kömür oranının yaklaşık % 20-25 civarında olduğu tespit edilmiştir. Ancak, topaklaşma nedeniyle kömür tanelerinin etrafı kil ve diğer mineraller tarafından sarıldığından, kuru toz haldeki numunelerin mikroskopik incelenmesinde güçlüklerle karşılaşılmıştır. Optik incelemelerde kil mineralleri, irili ufaklı topaklaşmış agregatlar halinde olduğu ve kuvars mineralinin de bunlara eşlik ettiği tespit edilmiştir. Örnekler içerisinde yer yer sülfürlü metalik minerallere de rastlanmıştır. Bu minerallerin başlıcası pirittir.

Mikroskop incelemeleri kil içerikli atıkların üç farklı boyutunda yapılmıştır. Bunlar orijinal atık, ve atığın 0.045 mm elektroti ve eleküstüdür. Orijinal atıkta, tanımlanan kömürlerin yanı sıra kil mineralleri, kuvars, ve muskovit mineralleri görülmüştür. -0.045 mm boyutunda da aynı mineraller görülmüş olup kömür içeriğinin ihmali edilebilecek oranda olduğu saptanmıştır.

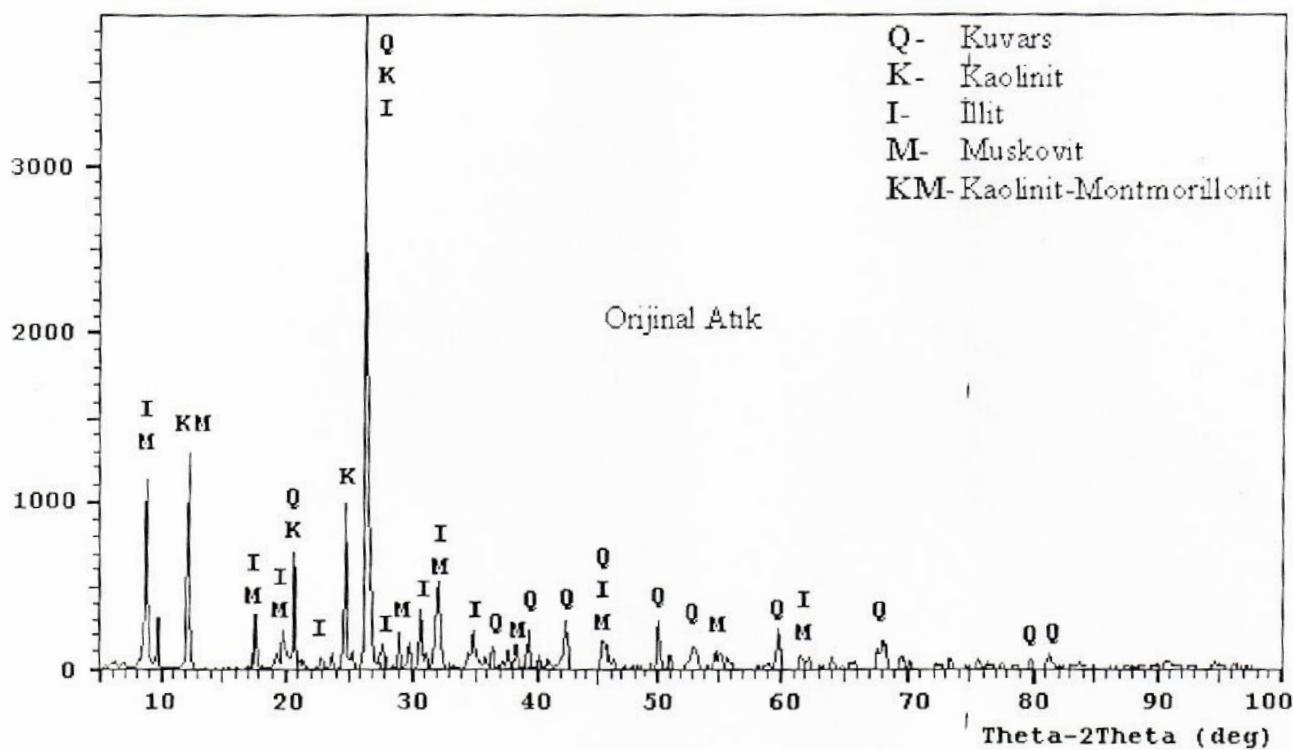
Orijinal atık 0.045 mm elekten elendikten sonra elek üstü bakiyesinin tamamen kömürden oluştuğu görülmüştür. Bu kömürlerin yakılması sonrası kalan kül mikroskop altında incelediğinde kül içeriğinin büyük bir çoğunuğunun kil mineralleri, çok az bir kısmının da

kuvars ve muskovit minerallerindenoluştuğu tespit edilmiştir. Kil minerallerinin de aslında iri boyutlu olmayan ve tam olarak açılamayan ve topaklaşmış olan killer olduğu saptanmıştır. Buna göre atık içerisinde yer alan mineral maddelerin çok büyük bir kısmının 0.045 mm boyutu altında olduğu belirlenmiştir. Nitekim bu durum tane boyut analizi ile de uyuşmaktadır.

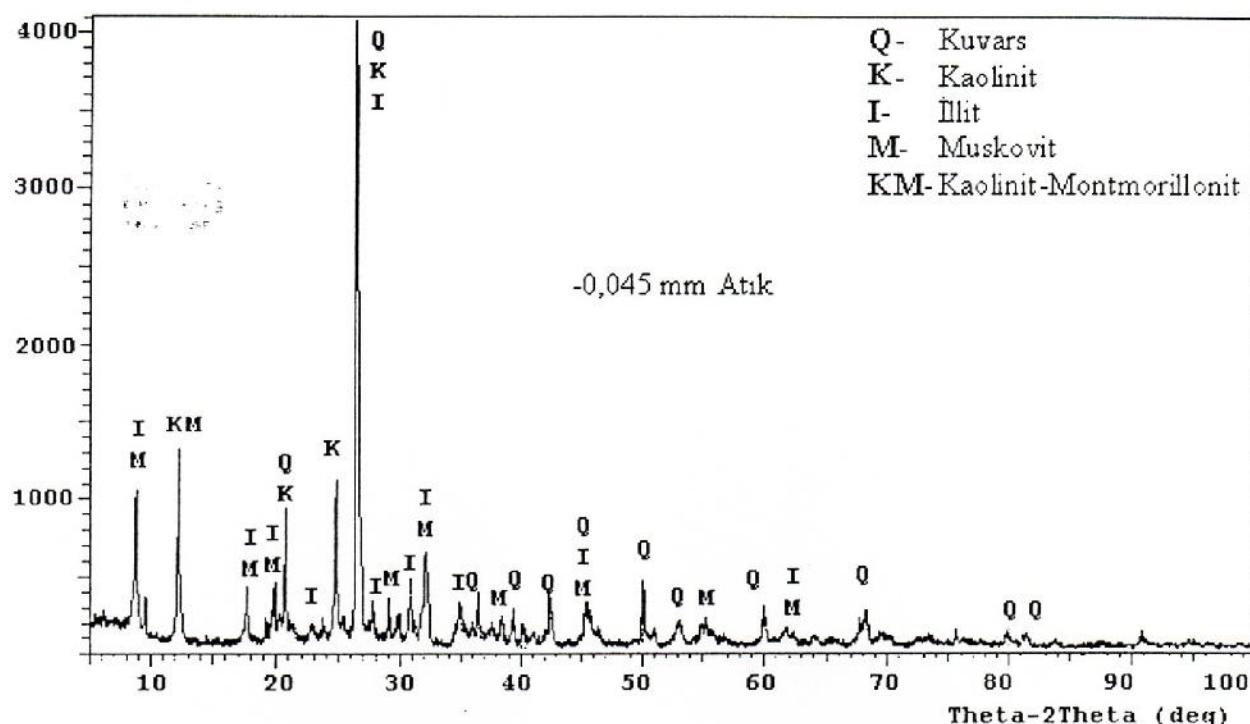
## Mineralojik Analizler

Tunçbilek kömür hazırlama tesisi atık suyu mineral içeriğini belirlemek amacıyla X ışınları analizi yapılmıştır. Şekil 2'deki kömür damarları stamplarında görüldüğü gibi, kömür damarı içerisinde değişik kalınlıklarda kil tabakaları yer almaktadır. Bu killer yıkama işlemleri sırasında kömürden uzaklaştırılmakta ve atık suya şlam olarak karışmaktadır. Kil minerallerinin tanınmasında en etkili yöntemlerden birisi X ışınları analizidir.

Orijinal atıkta X ışınları analizi ile tanımlanan mineraller başlıca kuvars, kaolenit, illit, muskovit ve kaolenit-montmorillonit'dir (Şekil 2). -0.045 mm fraksiyonu için yapılan XRD analizinde de yine aynı minerallere rastlanmış, piklerde herhangi bir değişim gözlenmemiştir (Şekil 3).



**Şekil 2.** Tunçbilek kömür hazırlama tesisi atıklarının orijinal atık XRD difraktogramı.

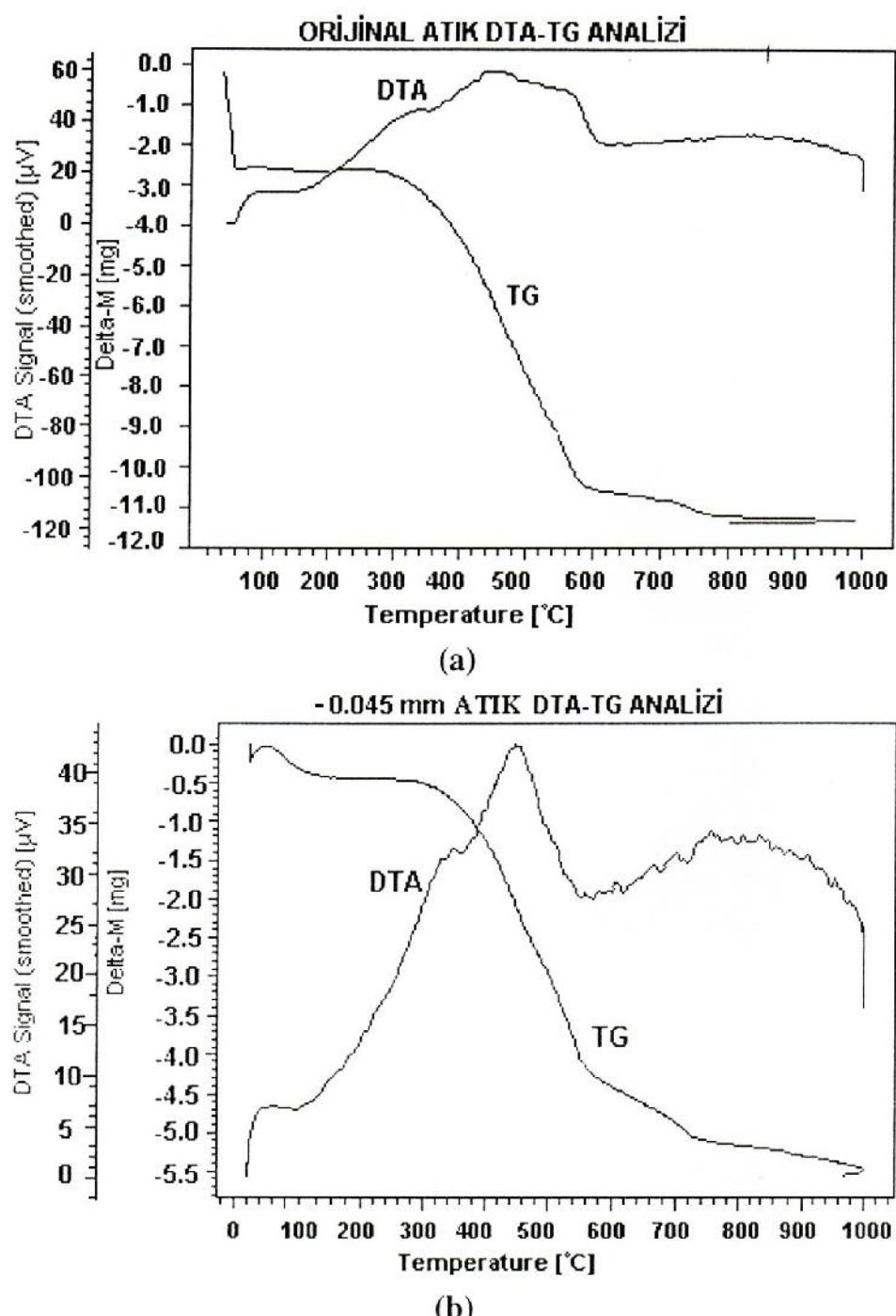


Şekil 3. Tunçbilek kömür hazırlama tesisi atıklarının -0,045 boyutu XRD difraktogramı

### Termal Analizler (DTA-TGA analizleri)

DTA eğrileri, malzemelerin kristal yapıları ve kimyasal bileşimlerinin bir fonksiyonudur ve numunenin mineralojik özelliklerini yansımaktadır. DTA, bir numune üzerinde, ısıtma ile tüm enerji değişimini göstermektedir. Bu enerji değişimi beş nedenden dolayı meydana gelebilir; geçiş fazı, birincil bozulma fazı, çok bileşenli numunelerin katı durum reaksiyonları ve aktif gazlarla reaksiyonları ve ikincil fazdır (Kadir ve Baş, 1995). TGA eğrileri ise, sıcaklıkla birlikte meydana gelen toplam bozulma ve oksidasyondan dolayı oluşan ağırlık kaybını açıklar (Van Olphen and Fripiat, 1978).

XRD sonuçlarıyla elde edilen bulguları desteklemek amacıyla orijinal ve -0,045 mm atığın DTA ve TGA analizleri yapılmıştır. LINSEIS L 81 cihazı ile gerçekleştirilen analizlerde kullanılan numune miktarları; orijinal atık için 23,1 mg, -0,045 mm atık ise 27,0 mg ve ısıtma hızı 10°C'dir. Elde edilen pikler Şekil 4'de gösterilmiştir.



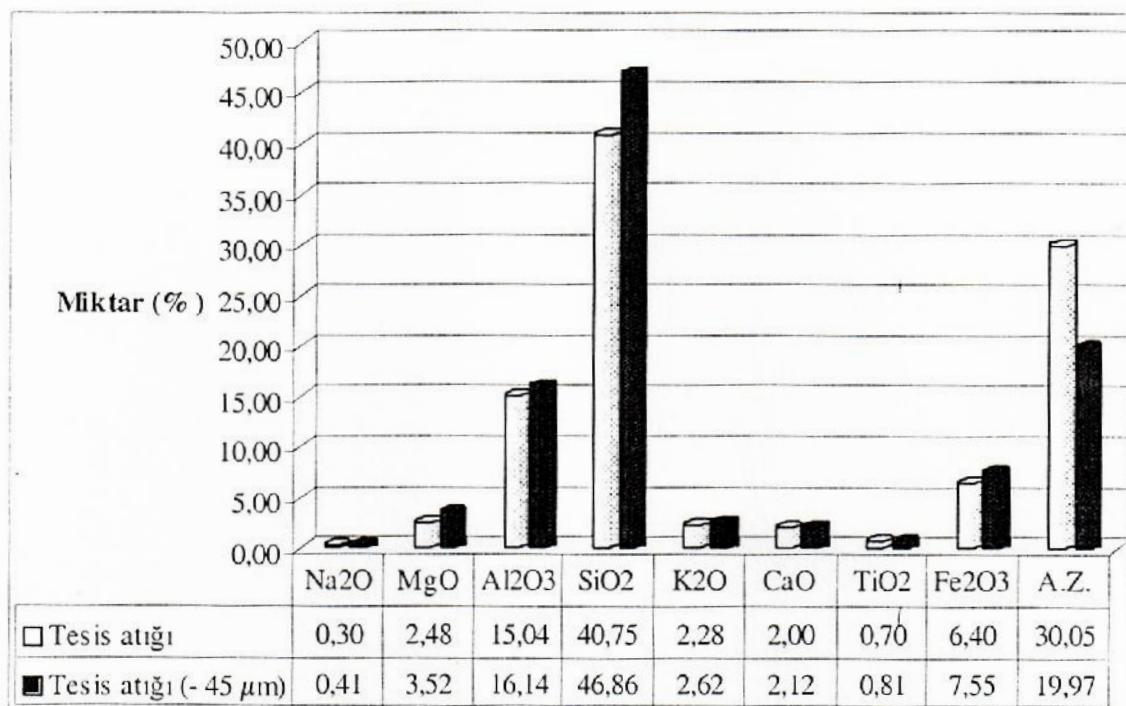
Şekil 4. Orijinal atık (a) ve bu atığın -0.045 mm fraksiyonunun (b) DTA ve TGA eğrileri.

Şekilde, orijinal atığın DTA eğrisi ile -0,045 mm atığın DTA eğrisi arasında bir farklılaşma bulunmaktadır. Bunun nedeni orijinal atığın organik madde ihtiva etmesidir. Atığın DTA grafiğinde 400-500°C arasındaki belirgin orijinal pik ve TGA grafiğinde 300-600°C arasındaki yüksek ağırlık kaybı kömürün yanmasından kaynaklanmaktadır. Kil piklerinin net olarak görülememesinde karbon pikleri ile çakışmasının rolü büyütür. -0,045 mm numune tesis atığının ihtiva ettiği kömür miktarından çok daha düşük miktarda kömür içerdiginden, bir başka ifade ile elekaltı numunede diğer komponentler artarken kömür eksildiğiinden, elekaltı atığın DTA pikleri daha belirgin ve ağırlık kaybı daha düşüktür. -0,045 mm atığın ağırlık kaybı %20 civarında olup, bunun %15'i 320-560°C arasında gerçekleşmektedir. Orijinal atığın toplam ağırlık kaybı ise %33 olup, bunun %30'u 320-580°C arasında meydana

gelmektedir. TGA grafiğinden saptanan ağırlık kayıpları, aynı numunelerin kimyasal analizleri ile belirlenen kızdırma kaybı sonuçlarını (Şekil 5) teyit etmektedir.

### **Kimyasal Analizler**

Kömürre eşlik eden mineral maddeler XRD analiziyle belirlendikten sonra XRF yöntemiyle bu minerallerin kimyasal bileşimleri tayin edilmiş ve sonuçlar Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Tunçbilek kömür hazırlama tesisi atıklarının kimyasal bileşimleri

Şekil incelendiğinde orijinal atık ile -0,045 mm atığın kimyasal bileşimlerinde fazla bir farklılık olmadığı, buna karşın organik maddece fakir -0,045 mm atıktaki ateş zayıatında belirgin bir düşme olduğu görülmektedir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve demir oksit miktarları ise atığın mineralojik bileşiminde kil minerallerinin bulunduğu teyit etmektedir. Mineralojik analiz sonuçları da dikkate alındığında, %15,04-16,14 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaolinit ve illitin, %2,28-2,62 K<sub>2</sub>O ise muskovitin varlığına işaret etmektedir. Kil minerallerinden arta kalan SiO<sub>2</sub> (%41,0-46,6) ise kuvarstır. CaO ve MgO oranlarının düşük çıkması, atıkta çok az miktarda karbonat mineralleri olduğunu göstermektedir. Elde edilen veriler ve XRD sonuçlarına göre, orijinal atık teorik olarak %25 civarında kil mineralleri (illit, kaolinit), %22 civarında muskovit ve %23 oranında kuvars ihtiva etmektedir. Kömür oranı ise %20 dolaylarındadır.

### **Karbon-Kükürt ve Kül Analizleri**

Orijinal atık ve 0,045 mm'lik elekten geçirilen eleküstü ve elekaltı atığın kül analizleri DIN 51719 standardına göre (Deutsche Industrie Norm, 1967) yapılmış, karbon-kükürt analizleri ise MET marka Multilab-CS cihazında gerçekleştirilmiştir. Tablo 1, orijinal atık ve atığın 0,045 mm elekaltı ve eleküstü fraksiyonlarının kül ve karbon-kükürt içeriklerini göstermektedir. Tesise giren tüvenan kömürün analiz değerleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Atık numunelerinin kül, karbon ve kükürt içerikleri.

	Kül (%)	Karbon (%)	Kükürt (%)
Orijinal atık	69,74	18,83	0,69
- 0,045 mm atık	80,77	8,10	0,81
+ 0,045 mm atık	33,29	47,30	2,55

**Tablo 2.** Tunçbilek lavvarına beslenen tüvenan kömürün analiz değerleri.

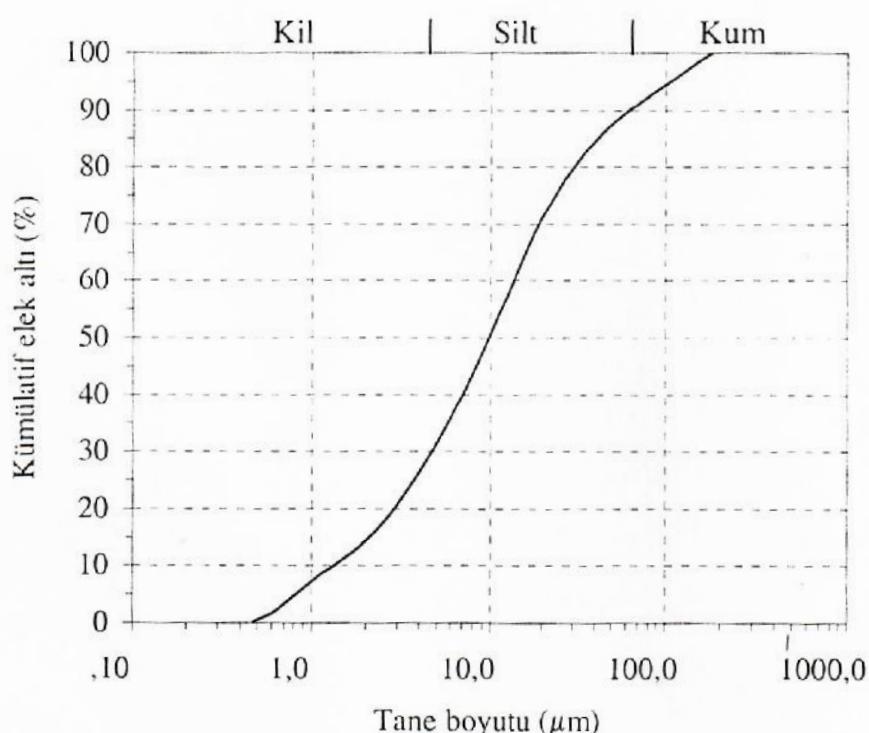
Kömürün Cinsi	Rutubet %	Kül %	Ucucu Madde %	Sabit Karbon %	Alt Işı Değeri Kcal/Kg	TS 5788'göre 1000 Kalori Başına Düşen Toplam Kükürt %
Tüvenan kömür	14,28	38,90	29,27	17,55	2697	0,68

Kimyasal analiz verilerinden hesaben bulunan teorik kömür miktarı (%20), atığın içerdiği çok az miktardaki karbonat mineralleri ihmali edildiğinde, karbon analizi yoluyla tespit edilen karbon miktarı (%18,83) ile benzerlik göstermektedir. Buradan hareketle, atığın içerdiği organik madde miktarının %18-20 arasında yer aldığı söylenebilir.

## Tane Boyut Analizleri

Tamamı 0,180 mm altında yer alan tesis atığının tane boyu analizi Malvern-Mastersizer cihazı ile yapılmış olup, boyut dağılımı eğrisi Şekil 6'da gösterilmiştir.

Wentworth (1922) sınıflandırmamasına göre, atıktaki kil boyutlu tane oranı %28 ( $< 4\mu\text{m}$ ), silt boyutlu tane oranı %62 ( $4\mu\text{m}-63\mu\text{m}$ )'dır. Sedimentasyon ortamlarında küçük kırıntılarından meydana gelen bu boyuttaki taneler, genellikle küçük boyutlu kuvars, kil mineralleri, klorit ve serisit gibi fillo silikat mineralleri ve küçük boyutlu kömür olabilmektedir. Kum boyutlu tane oranı ise %10 ( $> 63 \mu\text{m}$ )'dur. Bu boyuttaki taneler ise nispeten daha iri boyutlu kuvars ve diğer silikat mineralleri ve kömür tanelerini içermektedir.



Şekil 6. Kömür hazırlama tesisi atık suyu kil içerikli mineral maddelerin tane boyutu dağılımı.

Atıkta bulunan kil içerikli mineral maddelerin Wentworth (1922) sınıflandırmamasına göre tane boyutu dağılımı Tablo 3'de görülmektedir. Buna göre tanelerin % 28'i kil ve % 62'si ise silt boyutundadır. Sedimentasyon ortamlarında küçük kırıntılarından meydana gelen bu boyuttaki taneler, genellikle küçük boyutlu kuvars, kil mineralleri, klorit ve serisit gibi fillo silikat mineralleri ve küçük boyutlu kömür olabilmektedir. Tanelerin %10'u ise kum boyutundadır. Bu boyutlu taneler ise nispeten daha iri boyutlu kuvars ve diğer silikat mineralleri ve büyük oranda kömür tanelerini içermektedir.

Tablo 3. Atıkta yeralan kil içerikli mineral maddelerin Wentworth sınıflandırmamasına göre tane boyutu dağılımı.

Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Grubu	Miktarı (%)
- 4	kil boyutlu tane	28
4 - 63	silt boyutlu tane	62
63 - 200	kum boyutlu tane	10

## **SONUÇLAR**

Tunçbilek Kömür Hazırlama Tesisi sulu atığının özelliklerini tespit için yapılan karakterizasyon testlerinden elde dilen sonuçlar aşağıda topluca verilmiştir:

Atığın yoğunluğu, gr/cm <sup>3</sup>	2,71
Kızdırma kaybı, %	30
Kuru bazda inorganik/organik madde oranı	80:20
Tane boyutu aralığı, µm	0.4.....180
Şlam boyundaki (< 20 µm) tanelerin oranı, %	71
Ortalama tane boyutu, µm	11.93
Kil boyutlu tane oranı, %	28
Silt boyutlu tane oranı, %	62
Kum boyutlu tane oranı, %	10
Mineral madde içeriği	Kil mineralleri, muskovit ve kuvars
Orijinal atığın kül içeriği, %	69.74
-0,045 mm atığın kül içeriği, %	80.77
+0,045 mm atığın kül içeriği, %	33.29

Tesis sulu atığında kil ve silt boyutlu tane oranı yüksektir. %71 oranında şlam boyutlu tane içeren atığın hemen hemen yarısını kil grubu mineraller oluşturmaktadır. Kömür hazırlama tesisi sulu atığın flokülasyon yöntemiyle susuzlaştırılmasında, süspansiyonda kılın varlığı, flokülasyon performansını doğrudan etkileyebilecek mikarda ve boyuttadır. İçerdiği mineraller açısından heterojen bir yapı gösterdiği bu çalışma ile ortaya konan tesis atığının çökelme davranışında, sadece kil minerallerinin belirleyici olduğunu söylemek zordur. Halen devam eden araştırmaların bir diğer amacı da, bu konunun açılığa kavuşturulmasıdır.

## **KATKI BELİRTME**

Bu çalışma, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Komisyonu tarafından desteklenen “Değişik Flokulant Kombinasyonları ile G.L.I. Tunçbilek (Kütahya) Kömür Hazırlama Tesisi Atıklarının Arıtılabilirliğinin İncelenmesi” isimli proje (00.AMYO.01) kapsamında gerçekleştirılmıştır.

## **KAYNAKLAR**

Atakuru, T., Atakuru, N. ve Patır, O., 1994. “Ara Kesmeli Kalın Kömür Damarlarının Selektif Üretim Yöntemi.”, Türkiye 9. Kömür Kongresi, 359-371.

Deutsche Industrie Norm, 1967. “Bestimmung des Aschegehaltes fester Brennstoffe.” DIN 51719, Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin.

Gökmen, V., Memikoğlu, O., Dağlı, M., Dinçay, Ö. ve Tuncalı, E., 1993. Türkiye Linyit Envanteri, M.T.A. Yayınları, Ankara, 356 s.

Güngör, P. ve Türkmenoğlu, A., 1993. "Tunçbilek-Domaniç (Kütahya) Havzasında Kömürlerle Ara Tabakalı Killerin Mineralojisi.", 6. Ulusal Kil Sempozyumu, İstanbul, 95-109.

Kadir, S. ve Baş, H., 1995. "Koyunağılı (Mihalıççık-Eskişehir) Sepiyolit Oluşumlarının Mineralojisi.", VII. Ulusal Kil Sempozyumu, Ankara.

Van Olphen, H. and Fripiat, J.J., 1978. Data Handbook for Clay Minerals and other non-metallic Minerals, Data prepared under the auspices on of OECD and the Clay Minerals Society.

Wentworth, C.K., 1922. "A scale of grade and class terms of clastic sedimentss", J. Geol., 30, 377-392.