

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şenay KADIKÖYLÜ

**BAZI TÜRK KÖMÜRLERİNDE MİNERAL MADDE MİKTARININ
BELİRLENMESİ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2005

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZI TÜRK KÖMÜRLERİNDE MİNERAL MADDE MİKTARININ
BELİRLENMESİ**

Şenay KADIKÖYLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Bu Tez 06/12/2005 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

İmza.....
Prof. Dr. Mesut ANIL
BAŞKAN

İmza.....
Doç. Dr. Alaettin KILIÇ
ÜYE

İmza.....
Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM
ÜYE

İmza.....
Doç. Dr. Suphi URAL
DANIŞMAN

İmza.....
Yrd. Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

**Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
Tarafından Desteklenmiştir.**
Proje No: MMF. 2004.YL.36

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki Hükümlere tabidir.

ÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BAZI TÜRK KÖMÜRLERİNDE MİNERAL MADDE MİKTARININ
BELİRLENMESİ**

Şenay KADIKÖYLÜ

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman: Doç. Dr. Suphi URAL

Yıl:2005 Sayfa: 55

Jüri: Prof. Dr. Mesut ANIL

Doç. Dr. Alaettin KILIÇ

Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

Doç. Dr. Suphi URAL

Yrd. Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ

Kömürlerin üretimini, hazırlanmasını ve kullanımını etkileyen en önemli etkenlerden birisi de mineral madde içerikleridir. Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, Zonguldak taşkömürü ile Çayırhan, Elbistan, Ermenek, Orhaneli, Soma, Tufanbeyli ve Tunçbilek linyitlerinin mineral madde miktarları incelenerek, darbe dayanımları ile mineral madde miktarları ve kompozisyonları arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

Bu çalışmada, kullanılan kömür örneklerinin özütleme (liç) tekniği ile suda ve HCl asitte çözülebilen mineral madde miktarları incelenmiştir. Özütleme (liç) yönteminden sonra geriye kalan numunelerden, 370°C’de Düşük Sıcaklık Külü elde edilmiştir. Ayrıca orijinal kömür numunelerinin X-ışını Flüoresans Spektrometre (XRF) yöntemi ile yarı kantitatif element analizleri yapılmıştır. Kömür örneklerinin darbe dayanımını belirlemek için, her bir örneğe Düzeltilmiş Darbe Dayanım deneyleri yapılmış ve bulunan indeks değerleri ile kömür örneklerinin mineral madde miktarları arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Kömür örneklerinin havada kuru bazda (hkb) nem içerikleri %10-25; kül içerikleri %7-41; uçucu madde içerikleri %11-52 ve sabit karbon içerikleri %11-62 arasında değişmektedir. Kömür örneklerinin darbe dayanım indisi ise %37-71 arasında değişmektedir. Kömür örneklerinin X-ışını difraksiyon (XRD) analizinde, başlıca kuvars, kristobalit, illit, kaolinit, montmorillonit, klorit, pirit, kalsit, dolomit, aragonit, siderit, jips ve hematit mineralleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kömür, Mineral Madde, Düşük Sıcaklık Külü, Özütleme, Darbe dayanımı

ABSTRACT
MSc THESIS

**DETERMINATION OF MINERAL MATTER CONTENT IN SOME
TURKISH COALS**

Şenay KADIKÖYLÜ

**DEPARMENT OF MINING ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY ÇUKUROVA**

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Suphi URAL

Year : 2005, **Pages :** 55

Jury : Prof. Dr. Mesut ANIL

Assoc. Prof. Dr. Alaeddin KILIÇ

Assoc. Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM

Assoc. Prof. Dr. Suphi URAL

Assist. Prof. Dr. Mustafa AKYILDIZ

Mineral matter content is one of the most important factor affected to production, prepare and use of coals. In this study, have been investigated relations between mineral matter contents and compositions with impact strengths, explored to mineral matter contents of Çayırhan, Elbistan, Ermenek, Orhaneli, Soma, Tufanbeyli and Tunçbilek lignites with Zonguldak bituminous coal.

Selective leaching methods were carried out. Then low-temperature ashes (LTA) at 370° C were received. Raw coal samples were also made up determination of element using X-ray fluorescence spectrometer (XRF) methods. Each sample have been made up impact strength experiments in order to determine to impact strength of coal samples and investigated relation between mineral matter contents of coal samples with impact strengths presented. Coal samples were changed between moisture contents 10-25%; ash contents 7-41%; volatile matter contents 11-52% and fixed carbon contents 11-62% on air dry basis. Impact strength index have been changed between 37-71% of coal samples. X-ray diffraction (XRD) analyses showed that quartz, cristobalite, illite, kaolinite, montmorillonite, chlorite, pyrite, calcite, dolomite, aragonite, siderite, gypsum and hematite minerals are principal minerals in the studied coal samples.

Key Words: Coal, Mineral Matter, Low temperature ash, Leaching, Impact strength

TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimi yapma olanağı sağlayan Sayın Prof. Dr. Mesut ANIL ile ders aşamasından bu yana bilgi, tecrübe, önerileri ile beni yönlendiren ve bana sabır gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Suphi URAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışma deney numunelerimin temininde yardımlarını esirgemeyen Maden Mühendisleri Odası Adana Şubesi Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Sabahatdin SAKATOĞLU ve Maden Mühendisleri Odası Genel Merkez Yönetim Kurulu Üyesi Sayın Ali ÖNEMLİ ile deneylerim esnasında bana yardımcı olan Araştırma Görevlisi Mehmet TÜRKMENOĞLU ve Ferhat YÜKSEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca bana maddi ve manevi her konuda destek olan babama ve anneme daima şükran ve minnet borçluyum.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL VE METOT.....	17
3.1. Materyal.....	17
3.1.1. Kömür Örnekleri.....	17
3.1.1.1.Çayırhan /ANKARA Havzası.....	17
3.1.1.2. Elbistan / K.MARAŞ Havzası.....	17
3.1.1.3. Ermenek / KARAMAN Havzası.....	18
3.1.1.4. Orhaneli / BURSA Havzası.....	19
3.1.1.5. Soma / MANİSA Havzası.....	19
3.1.1.6. Tufanbeyli / ADANA Havzası.....	20
3.1.1.7. Tunçbilek / KÜTAHYA Havzası.....	20
3.1.1.8. Zonguldak Havzası.....	21
3.2. Metot.....	22
3.2.1. Kırma, Ögütme ve Eleme.....	22
3.2.2. Kısa Analiz.....	22
3.2.3. Kömür Küllerinin Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi	22
3.2.4. Kömürlerin Mineral Madde Miktarı Tayini.....	22
3.2.4.1.Özütleme (liç) Yöntemi ile Suda ve Asitte Çözünebilen Mineral Madde Miktarı.....	22
3.2.4.2. Toplam Mineral Madde Miktarı Tayini.....	24
3.2.4.2.(1). Düşük Sıcaklık Külü.....	24
3.2.4.2.(2). Parr Yöntemi ile Mineral Madde Miktarı Tayini.....	25

3.2.4.2.(3). Kızdırma Kaybı Yöntemi ile Mineral Madde Miktarı	
Tayini.....	26
3.2.5. Mineralojik Analiz.....	26
3.2.6. Düzeltilmiş Darbe Dayanım Deneyi.....	26
3.2.7. Kömürde Kükürt Analizleri.....	28
3.2.7.1.Toplam Kükürt Tayini.....	28
3.2.7.2. Sülfat Kükürt Tayini.....	30
3.2.7.3. Piritik Kükürt Tayini.....	30
3.2.7.4. Organik Kükürt Tayini.....	33
4 . BULGULAR VE TARTIŞMA.....	34
4.1. Kısa Analiz.....	34
4.2. Kömür Küllerinin Kimyasal Özellikleri.....	34
4.3. Kömürlerin Mineral Madde Miktarı.....	35
4.3.1. Suda ve Asitlerde Çözünebilen Mineral Madde Miktarı.....	35
4.3.2. Toplam Mineral Madde Miktarı.....	39
4.4. Kömürlerin Mineralojik Özellikleri.....	44
4.5. Düzeltilmiş Darbe Dayanım İndisi.....	46
4.6. Kömürde Kükürt Analizleri.....	48
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Kömürün içinde bulunan mineraller.....	4
Çizelge 2.1. Linyit numunelerine ASTM standartlarına göre gerçekleştirilmiş olan kısa analiz (kuru bazda) sonuçları ve mineral madde miktarları.....	6
Çizelge 2.2. Linyit numunelerinden izole edilen mineral maddelerin ve kül numunelerinin X-ışını difraksiyon (XRD) analiz sonuçları.....	7
Çizelge 2.3. Ermenek kömürünün kısa analiz, elementer analiz ve kükürt analizlerinin sonuçları.....	9
Çizelge 4.1. Kömür numunelerinin TSE standartlarına göre havada kuru (hkb) kısa analiz sonuçları.....	34
Çizelge 4.2. Kömür Küllerinin Kimyasal Analiz Sonuçları.....	35
Çizelge 4.3. Kömürlerin özütleme (liç) yöntemi deney sonuçları.....	36
Çizelge 4.4. Özütleme (liç) deneyindeki sıvıların kimyasal analiz sonuçları.....	36
Çizelge 4.5. Kömürlerin düşük sıcaklık külü miktarları ve saf su pH değerleri.....	39
Çizelge 4.6. Kömür örneklerinin mineral madde, inorganik ve organik madde miktarları (hkb).....	40
Çizelge 4.7. Kömür örneklerinin X-ışını difraksiyon (XRD) analizinde belirlenen kristal formdaki mineral fazları.....	44
Çizelge 4.8. Kömür örneklerinin darbe dayanım deney sonuçları.....	46
Çizelge 4.9. Kömür örneklerinin kükürt analiz sonuçları.....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1. Bu çalışmada kullanılan kömür örneklerinin lokasyonları.....	18
Şekil 3.2. Kömür örneklerinin 80°C’de 6 saat su banyosunda bekletilmesi.....	24
Şekil 3.3. Düzeltilmiş Darbe Dayanım Ölçme Aygıtı.....	28
Şekil 3.4. Kömür numunelerinin HCl asit ekstraksiyonu.....	31
Şekil 3.5. Süzgeç kağıtlarına HCl asit dökülmesi.....	32
Şekil 4.1. Kömür örneklerinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanan mineral madde miktarları ve kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarları arasındaki ilişki.....	42
Şekil 4.2. Kömür örneklerinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanan mineral madde miktarları ile düşük sıcaklık külü (DSK) miktarları arasındaki ilişki.....	43
Şekil 4.3. Kömür örneklerinin kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarları ile düşük sıcaklık külü (DSK) miktarları arasındaki ilişki.....	43
Şekil 4.4. Kömür numunelerinin XRD patternleri.....	45
Şekil 4.5. Kömür örneklerinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanan mineral madde miktarları ile darbe dayanım indisleri arasındaki ilişki (hkb).....	47
Şekil 4. 6. Kömür örneklerinin kızdırma kaybına göre belirlenen inorganik madde miktarları ile darbe dayanım indisleri arasındaki ilişki (hkb).....	47
Şekil 4.7. Kömür örneklerinin darbe dayanım indisleri ile uçucu madde miktarları arasındaki ilişki (hkb).....	48

1. GİRİŞ

Kömürün içerdiği mineraller, kömürün üretimini, hazırlanmasını ve kullanımını etkilemektedir. Bu işlemlerin başarısı, kömürün içerdiği mineral maddenin özelliklerinin iyi tanınmasına bağlıdır. Kömür hazırlama tekniklerinin etkinlikleri ne olursa olsun, daima önemli miktarda mineral kömürde kalmakta ve kömürün kullanımında önemli rol oynamaktadır. Kömür, bir yakma ünitesinde yakıldığında, içerdiği mineral madde önemli değişikliklere uğrayarak; klinker oluşumu, korozyon, cüruf ve kurum gibi sorunlar yaratmaktadır. Kömürün temiz yakıtlara dönüştürülmesi amacıyla uygulanan sıvılaştırma, gazlaştırma ve piroliz işlemleri de kömürün içerdiği mineral maddenin miktarından, türünden ve dağılımından önemli ölçüde etkilenmektedir. Kömürün içerdiği mineral maddeden kaynaklanan sorunların azaltılabilmesi için, kullanılan kömürün mineral madde miktarı konusunda yeterli bilgiye sahip olmak gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, kömür numunelerinin mineral madde miktarlarını belirleyerek, darbe dayanımları ile mineral madde miktarları ve kompozisyonları arasındaki ilişkileri belirlemektir.

Mineral madde, kömürdeki inorganik minerallerin ve elementlerin toplamı olarak göz önüne alınmaktadır. Organik olarak bağ yapan karbon, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt dışındaki tüm elementler, bu sınıflandırmaya göre mineral madde olarak tanımlanmaktadır (Vorres, 1984). Genelde organik olarak kabul edilen bu beş elementin dördü, kömürde inorganik kombinasyon halinde de bulunmaktadır. Kalsiyum, magnezyum ve demir karbonatlarda karbon; serbest su ve hidrat suyu olarak hidrojen; oksitlerde, suda, sülfatlarda ve silikatlarda oksijen; sülfürler ve sülfatlarda kükürt bulunmaktadır (Lowry, 1963). Organik yapıyla bağ yapmış inorganik maddeler de mineral madde olarak nitelendirilir (Vorres, 1984).

Ward (1984)'e göre ise kömürde bulunan mineral maddeler üç ayrı sınıfa ayrılmaktadır:

- Boşluk suyu içerisinde çözülmüş tuzlar ve diğer inorganik kalıntılar;
- Kömürün organik yapısı içerisinde bulunan elementler; ve
- Belli bir kristal yapısı olan veya olmayan inorganik tanecikler

Yukarıda adı geçen ilk iki sınıf, mineral maddenin kristal formda olmayan inorganik kısmını oluşturmakta ve bunlar genellikle düşük kaliteli kömürlerde mineral madde miktarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Ward, 1991, 1992, 2002). Yine Ward (2002)'e göre, bitümlü ve diğer yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlerde mineral madde miktarının büyük bir kısmını inorganik tanecikler ve mineraller oluşturmaktadır.

Kömürün içerdiği mineral maddelerin türleri oluştukları bölgenin jeolojik çevresini yansıtır. Mineral maddeyi oluşturan bileşiklerin derişimleri yerel jeolojik çevrenin yanı sıra kömürün yaşına da bağlıdır. Bu nedenlerle, farklı yörelerden kaynaklanan kömürlerin mineral madde içeriklerinin tür ve miktarı ile dağılımları da farklı olmaktadır (Yaman, 1992).

Kömürdeki mineral maddeler, çıplak gözle görülebilecek büyüklükten optik veya elektron mikroskobu ile görülebilen mikron boyutlarına kadar çeşitli büyüklüklerde olabilmektedir (Vorres, 1984).

Kömürdeki mineral maddeler çok çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Pratikte; kömürleşme aşamasında kömüre dönüşen bitkilerin inorganik kısmından kaynaklanan, kömürün organik yapısına bağlı olan bünye mineral maddesi ve kömür oluşumu tamamlandıktan sonra kömüre katılan dış mineral maddedir. Dış mineral madde kömürün organik yapısına dağılmamış olup, fiziksel yöntemler ile kolaylıkla kömürden ayrılabilmesine rağmen, bünye mineral maddesi kömür zenginleştirme yöntemleri ile uzaklaştırılmaz (Lowry, 1963). Mineraller kömüre tüm oluşum aşamalarında katılırlar, fakat kömüre mineral madde girişı iki önemli dönemde gerçekleşir. Turba birikimi aşamasından yumuşak linyit oluşumuna kadar olan süreçte, kömüre katılan mineral maddeler singenetik (kendini çevreleyen kömür ile birlikte teşekkül etmiş olan mineral maddeler)'tir. Sertleşme başladıktan sonra epigenetik (kendini çevreleyen kömürden sonra teşekkül etmiş olan mineral maddeler) faz başlar. Kömürün organik kısmı inerleşmiştir ve çözeltilerden etkilenmez (Mackowsky, 1968). Ayrıca kömürün bünyesindeki mineraller, inorganik maddelerin kimyasal olarak çökmeleri veya çözeltiler ile kömürde önceden varolan organik veya inorganik maddelerin tepkimeye girmesi ya da turbanın oluştuğu bataklığın dışında oluşup, aşınma yolu ile bataklığa taşınması sonucu da oluşmuş

olabilirler. Kömür minerallerinin sınıflandırılması kömürdeki derişimleri esas alınarak da yapılmaktadır. Meyers (1982)'a göre, kömürün içerdiği mineral maddeler majör, minör ve iz mineraller olarak üç kısma ayrılmıştır. Kömürdeki majör mineraller toplam mineral maddenin %10'undan fazlasını oluşturup, minör mineral maddeler %1-2; iz mineraller ise %1'in altındadır. Kömürde bulunabilen mineral maddeler Çizelge 1.1'de görölmektedir.

Birincil enerji kaynağımız olan kömürlerin, bazılarından alınan numunelerin mineral madde miktarlarının incelendiği bu çalışmada, Türkiye'nin önemli rezerv potansiyeline sahip 8 değişik yöresinden toplanmış olan kömür numuneleri (Çayırhan, Elbistan, Ermenek, Orhaneli, Soma, Tufanbeyli, Tunçbilek linyitleri ve Zonguldak taşkömürü) kullanılmıştır.

Çizelge 1.1. Kömürün içinde bulunan mineraller (Gluskoter, 1977)

Mineral İsmi	Kimyasal Formülü
Killi Mineraller	
Montmorillonit	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$
İllit	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
Kaolinit	$\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Halloysit	$\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Sülfür Mineralleri	
Pirit	FeS_2 (küçük)
Markasit	FeS_2 (rombik)
Sfearit	ZnS
Galen	PbS
Kalkopirit	CuFeS_2
Pirotit	Fe_{1-x}S
Arsenopirit	FeAsS
Millerit	NiS
Sülfat Mineralleri	
Barit	BaSO_4
Jips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Anhidrit	CaSO_4
Bassanit	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$
Jarosit	$(\text{Na}, \text{K})\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
Szomolnokit	$\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Rozenit	$\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Melanterit	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Mirabilit	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Kieserit	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Karbonat Mineralleri	
Kalsit	CaCO_3
Dolomit	$(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$
Siderit	FeCO_3
Ankerit	$(\text{Ca}, \text{Fe}, \text{Mg})\text{CO}_3$
Klorür Mineralleri	
Halit	NaCl
Silvit	KCl
Bisofit	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Silikat Mineralleri	
Kuvars	SiO_2
Biyotit	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
Zirkon	ZrSiO_4
Turmalin	$\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$
Garnet	$(\text{Fe}, \text{Ca}, \text{Mg})_3(\text{Al}, \text{Fe})_2(\text{SiO}_4)_3$
Epidot	$\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$
Ortoklaz	KAlSi_3O_8
Augit	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})(\text{Al}, \text{Si})_2\text{O}_6$
Topaz	$\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH}, \text{F})_2$
Oksit ve Hidroksit Mineralleri	
Hematit	Fe_2O_3
Magnetit	Fe_3O_4
Rutil	TiO_2
Limonit	$\text{FeO} \cdot \text{OH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Götite	$\text{FeO} \cdot \text{OH}$
Diaspor	$\text{AlO} \cdot \text{OH}$
Fosfat Mineralleri	
	Florapatit//// $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yaman (1992) tarafından Türkiye'nin 25 değişik yöresinden toplanan linyit kömürlerinin (Çayırhan, Aşkale, Bağyaka, Merkezler, Çan, Dodurga, Akpınar, Çiftalan, Gediz, Ilgın, Mengen, Mihalıççık, Milas, Orhaneli, Seyitömer, Soma, Tepebaşı, Tınaz, Karakaya, Tunçbilek, Yatağan, Merzifon, Sorgun, Yeniköy ve Elbistan) mineral maddeleri araştırılmıştır. Linyit numunelerine uygulanan mineral madde tayini, ISO-602 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Bu analizde izlenen yöntem; kömür numunelerinin inorganik kısmının klorür ve florür asidi çözeltileri kullanılarak ekstrakte edilmesini esas almaktadır. Sülfür bileşikleri kömürde genellikle pirit şeklinde bulunduğundan, tüm linyit numunelerine pirit analizini ASTM D 2492 standardına uygun olarak gerçekleştirmiştir. Kömür numunelerinin organik kısımları performik asit ile oksitlenerek uzaklaştırılmış ve izole edilen mineraller X-ışını difraksiyon (XRD) tekniği ile analiz edilmiştir. Kullanılmış olan tüvanan linyit numunelerine Avustralya Standartları (ASTM)'na göre; nem (ASTM D 3173-73), uçucu madde (ASTM D 3175-77), kül (ASTM D 3174-73) ve ısıl değer (ASTM D 2015-66) tayinleri yapılmıştır. Buna göre linyit numunelerinin kısa analiz (kuru bazda) ve mineral madde miktarları Çizelge 2.1'de gösterilmektedir. Buna göre; linyit numunelerinin mineral madde miktarının oldukça geniş bir aralıkta değiştiği (%7,68-47,97); örneklerin kuru bazda hesaplanmış olan mineral madde miktarı ile bıraktıkları kül miktarı arasında oldukça kuvvetli bir ilişkinin olduğu; kömürlerin yanabilen kısmı (aktif madde içeriği) ile mineral madde miktarı arasında doğrusala yakın bir ilişkinin olduğu; kömürlerin mineral madde miktarının artması ile ısıl değerinin önemli ölçüde etkilendiği belirtilmiştir. Performik asit kullanılarak yapılan izolasyon sonucu saptanılan mineral madde bileşenleri ile linyit numunelerinin Avustralya standardına (ASTM) göre üretilen küllere uygulanan X-ışını difraksiyon (XRD) analiz sonuçları karşılaştırılmış ve izolasyon sonucu elde edilen mineral maddelerin X-ışını difraksiyon (XRD) analizinde 19 değişik tür saptanmasına rağmen, küllerde 8 türün saptandığı ifade edilmiştir. Linyit numunelerinden izole edilmiş mineral maddelerin ve ASTM D 3174-73 standardına göre üretilmiş kül numunelerinin X-ışını difraksiyon (XRD) analiz sonuçları Çizelge 2.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Linyit numunelerine ASTM standartlarına göre gerçekleştirilmiş olan kısa analiz (kuru bazda) sonuçları ve mineral madde miktarları (Yaman, 1992).

	Nem (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Kül (%)	AİD (mj/kg)	Mineral Madde Miktarı (%)
Çayırhan	10,5	32,2	25,1	32,2	10,47	41,90
Orhaneli	15,9	41,0	36,4	6,7	20,01	13,67
Soma	12,5	32,3	32,3	22,9	19,24	27,66
Tunçbilek	13,9	24,6	22,3	39,2	12,13	47,97
Elbistan	48,0	28,2	11,8	12,0	10,27	30,24
Aşkale	4,4	22,2	32,8	40,6	14,45	44,37
Bağyaka	15,7	36,1	16,4	31,8	11,40	46,22
Merkeşler	9,6	39,2	40,2	11,0	21,68	11,92
Çan	10,5	36,8	40,6	12,1	20,75	16,51
Akpınar	27,6	39,8	22,8	9,8	16,87	12,30
Çiftalan	24,2	38,4	31,2	6,2	17,23	7,68
Gediz	2,0	32,0	51,6	14,4	27,08	17,04
Ilgın	14,0	36,1	23,3	26,6	14,23	34,72
Mengen	7,2	46,4	39,1	7,3	26,01	12,46
Dodurga	19,9	30,3	35,8	14,0	16,95	16,42
Mihalıççık	25,3	28,7	16,7	29,3	11,59	38,34
Milas	16,2	40,9	10,3	32,6	12,13	44,14
Seyitömer	35,4	32,2	23,4	9,0	13,38	15,27
Tepebaşı	17,9	37,3	26,1	18,7	16,10	28,88
Tınaz	27,0	34,4	18,0	20,6	14,64	26,80
Karakaya	14,1	33,4	39,8	12,7	19,68	15,14
Yatağan	40,4	32,1	12,3	15,2	12,80	35,60
Merzifon	6,4	28,6	37,4	27,6	19,02	33,94
Sorgun	5,9	31,8	53,4	8,9	27,68	8,84
Yeniköy	27,5	34,4	24,0	14,1	12,26	27,62

Çizelge 2.2. Linyit numunelerinden izole edilen mineral maddelerin ve kül numunelerinin X-ışını difraksiyon (XRD) analiz sonuçları (Yaman, 1992).

Numune Adı	İzole edilen mineral maddeler	Küldeki mineral maddeler
Çayırhan	Kuars, Szomolnokit, Epidot, Diaspor, Ankerit, İllit, Na-Al-SiO ₂ -hidrat, Pirit	Kuars, Hematit, Anhidrid, Anortit, Feldispat, Müllit, Gehlenit, Metakaolinit
Bağkaya	Kuars, Magnetit, Kaolinit, İllit, Pirit	Kuars, Hematit, Anhidrid, Anortit, Feldispat, Müllit, Metakaolinit
Merkeşler	Kuars, Kaolinit, Pirit	Hematit, Anhidrid, Feldispat
Çan	Kuars, Tridimit, Hematit, Magnetit, Götit, Rozenit, Kaolinit, Ca-SO ₄ -hidrat, Pirit	Kuars, Hematit, Anhidrid, Anortit, Müllit, Gehlenit
Dodurga	Kuars, Tridimit, Szomolnokit, Rozenit, Kaolinit, Ca-SO ₄ -hidrat, Pirit	Kuars, Hematit, Anhidrid, Anortit, Feldispat, Gehlenit
İlgın	Kuars, İllit, Ortoklaz, Anhidrid, Pirit	Kuars, Hematit, Anhidrid, Anortit, Feldispat, Müllit, Metakaolinit
Mihaliççık	Kuars, Hematit, Szomolnokit, Bassanit, Epidot, Ankerit, Na-Al-SiO ₂ -hidrat, Pirit	Kuars, Hematit, Anhidrid, Anortit, Feldispat, Müllit, Metakaolinit
Seyitömer	Kuars, Tridimit, Rozenit, Kaolinit, Ca-SO ₄ -hidrat, Epidot, İllit, Pirit	Kuars, Hematit, Anhidrid, Anortit, Feldispat, Müllit, Gehlenit
Soma	Kuars, Magnetit, Szomolnokit, Rozenit, Bassanit, Kaolinit, Pirit	Kuars, Hematit, Anhidrid, Anortit, Feldispat, Müllit, Metakaolinit
Tepebaşı	Kuars, İllit, Ortoklaz, Pirit	Kuars, Hematit, Anhidrid, Anortit, Feldispat, Müllit, Gehlenit
Tınaz	Kuars, Kaolinit, İllit, Rutil, Pirit	Kuars, Hematit, Anhidrid, Müllit, Metakaolinit
Karakaya	Kuars, Magnetit, Rozenit, Kaolinit, Pirit	Kuars, Hematit, Anhidrid, Anortit, Feldispat, Gehlenit
Tunçbilek	Kuars, Tridimit, Hematit, Magnetit, Götit, Rozenit, Kaolinit, Ca-SO ₄ -hidrat, Pirit	Kuars, Hematit
Yeniköy	Kuars, Tridimit, Magnetit, Rozenit, Kaolinit, Pirit	Kuars, Hematit, Anhidrid, Anortit, Feldispat, Gehlenit, Metakaolinit
Elbistan	Kuars, Tridimit, Hematit, Magnetit, Götit, Kaolinit, Ca-SO ₄ -hidrat, İllit, Na-Al-SiO ₂ -hidrat, Pirit	

Performik asit kullanılarak yapılan izolasyon yönteminin, birçok mineral türünün orijinal yapısını bozmadığı ve performik asit yönteminin, karbonizasyon derecesi düşük kömürlerin mineral maddelerinin izolasyonunda uygulanabilecek pratik bir yöntem olduğu saptanmıştır.

Karayiğit ve Demirel (1998) tarafından Ermenek tavan kömürünün kalitesi ve petrografik karakteristikleri tanımlanmıştır. Kömür havzası, Çanakçı ve Pamuklu – Tepebaşı olmak üzere iki bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgelerdeki kömürlerin, beyaz renkli gastropod kabukları (Planorbidae) içerdikleri belirtilmiş ve genel olarak orijinal aragonit ve kalsit bileşimine sahip oldukları görülmüştür. Kömürlerin, her iki bölgede de aynı kimyasal özellikleri ve petrografik bileşimi gösterdikleri, ancak kükürt içeriklerinin farklı olduğu saptanmıştır. Ermenek kömürünün kısa ve elementer analiz ve kükürt bileşiklerinin sonuçları Çizelge 2.3’de gösterilmektedir. Buna göre, Çanakçı bölgesindeki kömürlerin havada kuru bazda (hkb), Pamuklu – Tepebaşı bölgesindeki kömürlerden daha düşük oranda toplam kükürt (ort. %1,3) ve organik kükürt (%0,13-0,15) içeriğine sahip oldukları görülmüştür. Bu fark’ın, turba oluşumu sırasında, çamur kimyası ve sedimentasyon tarafından kontrol edilmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Kömürlerin, yüksek oranda hüminit (vitrit) ve düşük oranda liptinit ve ihmal edilebilir miktarda inertinit maseralleri ile karakterize edildikleri; hüminit grubundaki en önemli maserallerin, ülminit, teksinit, korpohüminit ve düşük oranda hümodetrinit (atrinit ve densinit)’den oluştuğu bulunmuştur. Kömürlerin ortalama rastlantısal reflektansı’nın (Rr) başlıca ülminit için %0,37 – 0,44 (ort. %0,40) arasında olduğu; bunun da Avustralya Standartları (ASTM) sınıflandırma sistemine göre yarı bitümlü C rank’ını gösterdiği görülmüştür. Flüoresans spektroskop çalışmalarına göre, 582 nm’den 650 nm’ye kadar birbirinden farklı örnekler üzerine sporonitlerin maksimum spektral’ı, yüksek uçuculu bir bitümlü kömür basamağını gösterdiği ve bu rank’ın rölatif olarak kimyasal analiz ve özellikle reflektans ölçümü verilerinden belirlenen kömür basamağından farklı olduğu belirtilmiştir. Buna göre, sporonitlerin spektral maksimum değerinin araştırılan kömürlerde iyi bir rank parametresi olmadığı görülmüştür. Diğer taraftan, kömürlerdeki sporonit ve eksudatinit’in flüoresans

emisyon spektrasının, önceden ölçülen Tersiyer yaşlı kömürlerine çok benzediği belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. Ermenek kömürünün kısa analiz, elementer analiz ve kükürt analizlerinin sonuçları (Karayiğit ve Demirel, 1998).

Kısa analiz, elementer analiz ve kükürt bileşikler	Çanakçı Bölgesi (21 örnek)		Pamuklu – Tepebaşı Bölgesi (19 örnek)	
	Dizi	Ortalama	Dizi	Ortalama
Nem %, (hkb)	4-16	12	8 -14	10
Kül %, (hkb)	9 - 35	18	9 - 46	24
Uçucu madde %, (hkb)	27-43	36	24 - 40	34
Sabit karbon %, (hkb)	19-40	34	18-41	32
Toplam kükürt %, (hkb)	0,4-2	1,3	2,2-6,8	4,5
Piritik kükürt %, (hkb)*	1,35-1,36	-	1,07-1,6	1,37
Sülfat kükürt %, (hkb)*	0,04-0,08	-	0,07-0,22	0,12
Organik kükürt %, (hkb)*	0,13-0,15	-	3,65-4,94	4,25
Brüt ısı değeri kcal/kg, (hkb)	3011-5283	4308	2536-5679	4468
C %, (kkb)**	66,65-69,70	-	67,91-70,31	69,31
H %, (kkb) **	4,98-4,24	-	3,83-4,42	4,08
N %, (kkb) **	1,96-1,97	-	1,55-1,99	1,73
O %, (kkb) **	23,62-21,89	-	15,32-19,23	17,44

(hkb): havada kuru baz ; (kkb): kuru külsüz baz

*, ** : Çanakçı bölgesinden sadece 2 örnekte, sırasıyla, sadece 6 ve 12 örneğin analizi

Karayiğit ve ark. (2000) tarafından Türkiye'nin 10 farklı termik santral ünitesinden beslenen kömür örneklerindeki (Çayırhan, Seyitömer, Tunçbilek, Orhaneli, Soma, Yatağan, Yeniköy, Elbistan, Kangal ve Çatalağzı) majör ve iz elementlerinin belirlenmesi ve konsantrasyonlarının karşılaştırılması üzerine odaklanılmıştır. 13 beslenen kömür örneği, bu işletme ünitelerinden alınmıştır ve kısa ve elementer analiz, X-ışını difraksiyon (XRD), İndüksiyonel birleştirilmiş plazma-atomik emisyon spektrometre (ICP-AES), İndüksiyonel birleştirilmiş plazma-kütle spektrometre (ICP-MS) ve Tarayıcı elektron mikroskobu ile enerji dağıtım X-ışını mikro-analiz (SEM-EDX) teknikleriyle analiz edilmiştir. Beslenen kömür örneklerinin, yüksek oranda nem (%14-47), kül (%23-64), toplam kükürt (%0,4-4,8) içeriğine ve brüt ısı değere (1370-4980 kcal/kg) sahip oldukları

görülmüştür. Beslenen kömür örneklerinin, başlıca kil mineralleri (Smektit, İllit, kaolinit / Klorit), kuvars, feldispat, kalsit, dolomit, pirit ve jips minerallerinden oluştuğu; Seyitömer, Tunçbilek ve Soma linyitlerinin fark edilir oranda siderit, Elbistan linyitinin düşük oranda aragonit ve Çayırhan linyitinin ise yüksek oranda zeolit (klinoptilit, heulandite ve analsim) mineralleri içerdiği belirtilmiştir. Kömür örneklerinin havada kuru bazda (hkb), yarı kantitatif X-ışını difraksiyon (XRD) analizinde mineral madde miktarlarını %21-60 arasında bulmuştur. Al, K ve Ti konsantrasyonları, kül miktarları ile korele edilmiş, ancak diğer majör elementler (Fe, Mg, Ca, Na ve P) korele edilememiştir. Beslenen kömür örneklerinin, kalsitçe zengin mineralojilerinden dolayı, yüksek oranda Ca konsantrasyonuna sahip oldukları ve düşük oranda fosfor içerdikleri görülmüştür. Tarayıcı elektron mikroskobu ile enerji dağıtımlı X-ışını mikro- analizi (SEM-EDX), apatit ve REE (nadir toprak element)-fosfat (monazit) gibi fosfor içerikli mineralleri belirlemek için yapılmıştır. Beslenen kömür örneklerindeki bazı iz elementler (Ba, Bi, Ga, Nb, Pb, Rb, Sc, Ta, La, Ce, Pr, Na, Sm, Eu ve Gd), inorganik çekim kuvvetine sahip kül miktarı ile korele edilmiştir. Beslenen kömür örneklerinin bor içeriği 1,4-244 µg/g arasındadır. Bununla beraber, Çayırhan, Seyitömer, Tunçbilek (A3) ve Soma (B1-4 ve B5-6) linyitlerinde, bor içeriği yüksek oranlarda (>100 µg/g) bulunmuştur. Bu linyit kömürlerinin, volkano-sedimanter neojen havzalarındaki kömür yataklarından çıkarıldıkları düşünülmüştür. İz element verilerine göre, beslenen kömürlerin çoğunda Cr (45-410 µg/g), Ni (13-678 µg/g) ve U (5,9-82 µg/g) gibi bazı elementlerin, dünyadaki diğer kömürler ile karşılaştırıldıklarında oldukça zengin oldukları ve arsenik elementinin ise beslenen kömür örneklerinde çok az oranda bulunduğu belirtilmiştir. Be ve Pb gibi diğer elementlerin de az oranda bulunduğu ve beslenen kömürlerin çoğunun, Vanadyum ve Th elementi ile zengin olduğu belirtilmiştir.

Karayiğit ve ark. (2000) tarafından Afşin-Elbistan havzasında kömür arama amacıyla yapılan BA-103 sondajına ait karot örnekleri üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında sondajda kesilen linyit damarının sadece üstten 25 m.'lik kısmı incelenebilmiştir. Linyitlerde ortalama olarak nem içeriğinin %12,7 (hkb), kül içeriğinin %29,2 (hkb), kükürt içeriğinin %3,71 (hkb), uçucu madde

içeriğinin %59,7 (kbb), ısıl değerin 21039 kJ/kg olduğu belirtilmiştir. Element analizi sonuçlarına göre, kuru külsüz bazda (kbb) C, H, N ve O değerleri sırasıyla %67,2, %4,2, %2 ve %20,4 olarak saptanmıştır. Linyitlerdeki yüksek karbon içeriğinin organik madde ve fosil kavkılarını oluşturan kalsit ve aragonit mineralinden kaynaklandığı belirtilmiştir. İz element analizi sonuçlarına göre, linyitlerde Mo (ort. 20 ppm), W(ort. 15 ppm), U (ort. 25 ppm) değerlerinin dünya ortalama değerlerine göre yüksek olduğu; Sr ve Mo elementlerinin linyitlerde organik madde ve Sc, Be, Zn, Ga, Rb, Zr, Cs, Ba, Y, Ta, W, Pb, Bi, Th ve REE (nadir toprak element) elementlerinin ise inorganik madde ile birlikte bulundukları belirtilmiştir.

Karayığit ve ark. (2001) tarafından Çayırhan termik santralının kazan ünitelerinden alınan beslenen kömür, uçucu kül ve zemin külü örneklerinin mineralojisi ve jeokimyası araştırılmıştır. Beslenen kömürler ve yanma artıklarını içeren (uçucu kül ve zemin külü) toplam 48 örnek, geç Miyosen yaşlı zeolit içerikli kömürleri yakan Çayırhan termik santralının (630 MW) iki kazan ünitesinden (I ve II), 4 hafta süreyle iki kez (Haziran 1998) toplanmıştır. Beslenen kömür örneklerinin havada kuru bazda (hkb), yüksek oranda nem (%22,8), kül (%44,9), toplam kükürt (%5,1) içeriğine ve düşük oranda ısıl değere (2995 kcal /kg) sahip olduğu bulunmuştur. Beslenen kömür örneklerinin çoğunlukla, yüksek oranda zeolit (clinoptilolite, heulandite ve analsim) mineralleri içerdikleri, bunların kömürün organik maddesinde bulundukları belirtilmiştir. Ayrıca kömürlerin, jips, kuvars, feldispat, pirit, dolomit, kalsit, kristobalit ve kil mineralleri de içerdiği belirlenmiştir. Beslenen kömürlerdeki majör ve iz element konsantrasyonlarının, dünyadaki birçok kömür dizisinde farklı olduğunu; bununla birlikte Mn, Ta, Th, U ve Zr elementlerinin ortalama değerinin maksimuma yakın olduğu, sadece W elementinin birçok dünya kömürlerinde maksimumdan daha fazla konsantrasyonlarda bulunduğu belirtilmiştir. Uçucu kül ve zemin küllerinin, çoğunlukla kristal olmayan amorf fazlar içerdiği bulunmuştur. Bununla beraber, kristalleşmiş fazlardaki en genel minerallerin, anhidrid, feldispat, kuvars, hematit, kireç ve Ca / Mg silikat mineralinden oluştuğu görülmüştür. Ayrıca minör ve iz miktarda magnetit, kristobalit, kalsit, clinoptilolite / heulandite ve gehlenit

mineralleri de içerdiği tespit edilmiştir. Majör ve iz element konsantrasyonlarının, yaklaşık olarak uçucu kül ve zemin külünde benzer olduğu ve Si, Ca, Al, Fe, Mg ve Na elementlerinin, yüksek oranda konsantrasyonlarının beslenen kömürlerin mineral miktarını yansıttığı görülmüştür. Kütle balans hesaplamalarına göre, birçok elementin, yanma sırasında katı artık ürünlerde kaldığı ve bunun nedeninin beslenen kömürlerin 550° C’de kül haline gelmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu sonucun, birçok elementin uçuculuğunu engellediğini ve düşük sıcaklık külü tekniğini kullanarak ilave bir araştırmanın gerekliliği öngörülmüştür. Na, Ba, Mn ve Sr elementlerinin, yanma artıklarında oldukça yüksek oranlarda bulunduğu ve bunların beslenen kömürlerin bazısında zeolit, barit ve selestit minerallerinin ağırlık etkilerinden dolayı parçalanmış olmalarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Uçucu kül ve zemin külü arasındaki element konsantrasyon oranlarına göre, As, Bi, Ge, Mo, Pb, Tl, W ve Zn elementlerinin, element uçuculuğundan dolayı uçucu küllerde yüksek oranda bulunduğu belirlenmiştir. Liç deneyleri, uçucu kül yeraltı suyuna karıştığında, As, Bi, Ge, Mo, Pb, Tl, W ve Zn gibi toksin (zehirli) elementlerinin akıbetinin araştırılması amacıyla yapılmıştır.

Karayığit (2001) tarafından Zonguldak Gelik madenindeki Akalin tabakasının mineralojisi ve iz element miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Orta bitümlü kömür rank’lı Akalin tabakası, Zonguldak havzasındaki Westfaliyen A yaşlı kömür içeren Kozlu formasyonun taban seviyesine yakın bulunmaktadır. 10 orijinal oluk kömür örneği, bu havzadaki Gelik madeninden toplanmıştır. Üretilabilir kömür kalınlığı 50-120 cm (ort. 80 cm) arasındadır. Orta bitümlü kömür rank’lı Akalin tabakasından alınan 10 orijinal oluk kömür örneğine göre, kömürler düşük oranda kül (ort. %5,3) ve toplam kükürt (%0,77) içeriği ile karakterize edilmiştir. Orijinal kömür örneklerinde X-ışını difraksiyon (XRD) tekniği ile belirlenen mineraller, killer (kaolinit, illit ve klorit), kuvars, kalsit, dolomit ve pirit’tir. Tarayıcı elektron mikroskop (SEM) araştırmasına göre örnekler, saf barit, Sr izleri ile barit, kalkopirit, apatit, REE (nadir toprak element)-fosfat, Ti-oksit, galen ve Fe-oksit minerallerinden oluşmuştur. Akalin tabakasındaki vitrinit (telokallinit)’in ortalama %Rmax değerine göre, Amasra kömür havzasındaki 0,58-1,04 %Rmax arasındaki kömür tabakalarından daha yüksek miktarlarda olduğu

tespit edilmiştir. Bütün kömür örnekleri, İndüksiyonel birleştirilmiş plazma-kütle spektrometre (ICP-MS) tekniği kullanılarak iz element miktarlarını belirlemek için analiz edilmiştir. Buna göre kömür örneklerinin iz element miktarları rölatif olarak düşük orandadır, Ba (31-432 µg/g, ort. 130 µg/g) ve Mn (52-579 µg/g, ort. 129 µg/g) elementleri hariç tutulmuştur.

Karayığit ve Çelik (2003) tarafından Tunçbilek – Domaniç havzasındaki Miyosen yaşlı kömürlerdeki mineral madde ve iz elementleri araştırılmıştır. Tunçbilek-Domaniç havzası, Batı Anadolu'nun en verimli kömür havzalarından biridir. Miyosen yaşlı Tunçbilek formasyonunun tabanında, kalın ve yanal geniş bir kömür yatağı bulunur. Örneklenen kömür yatağının kalınlığı 3-10 m.'dir. Kömürler yer altı ve açık işletme yöntemleri ile üretilirler. 8 oluk örneği, farklı kömür madenlerinden toplanmıştır ve değerlendirilmiştir. Buna göre, kömür örneklerinin, havada kuru bazda (hkb), yüksek oranda kül (%29,8-55,5), geniş aralıkta toplam kükürt (%0,61-4,48) içeriğine ve ısı değere (2433-4835 kcal/kg) sahip olduğu belirlenmiştir. Ülminit'in, yağda, ortalama rastlantısal reflektans (R_r) değeri, %0,42-0,51 R_r (ort. %0,46) arasındadır ve buna göre kömürler yarı bitümlü kömür rank'lıdır. Orijinal kömür örneklerinin mineral maddesi, X-ışını difraksiyon (XRD) tekniği ile belirlenmiştir, başlıca kil mineralleri (smektit, illit ve kaolinit/klorit) ve kuvars, minör / iz oranda siderit, dolomit ve pirit minerallerinden oluştuğu tespit edilmiştir. Bunun dışında, bazı örneklerin fark edilir oranda feldispat, kalsit, jips, opal ve jarosit minerali içerdikleri görülmüştür. Bir kömür örneğinin, Tarayıcı elektron mikroskobu ile enerji dağıtım X-ışını mikro (SEM-EDX) analizine göre, kuvars, barit, pirit, KAl-silikat, KCaAl-silikat ve Ca-sülfat pirit ve stibnit'in küçük bir parçası belirlenmiştir. Petrografik çalışmalara göre, bazı masif piritler, kalsitler ve dolomitler kırık ve çatlaklarda bulunmuştur.

Ural ve Yüksel (2004) tarafından Elbistan linyit numunelerinin X-ışını difraksiyon (XRD) ve özütlem tekniği ile mineral madde miktarı incelenmiştir. Orijinal linyit numunelerinin X-ışını difraktogram çekimi, Rietveld yöntemi ile çalışan SIROQUANT yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş ve kristal formdaki mineraller ve bunların miktarları belirlenmiştir. Toplam mineral madde miktarının önemli bir kısmını oluşturan ve kristal formda olmayan inorganik maddelerin

miktarını belirlemek için, Ward'un (1991) kullandığı teknik esas alınarak, Elk2 numaralı numunede özütleme (liç) yöntemi kullanılmıştır ve bu işlemten sonra geriye kalan numuneden AS 1038.22 (2000) standardına uygun olarak 370°C'de Düşük Sıcaklık Külü (DSK) ile kül elde edilmiştir. Elk2 numaralı kömür numunesinin mineral madde miktarlarının %32,25'lik kısmının suda ve asitlerde çözündüğü; Elbistan / Kışlaköy açık işletmesinin, kömür tabakasının tabanından alınan her iki numuneye ilişkin kantitatif X-ışını difraksiyon (XRD) analizlerine göre kömür numunelerinde değişen miktarlarda kuvars, jips, kalsit, götit, klorit ve illit minerallerine rastlanıldığı; özütleme sonrası düşük sıcaklık külü (DSK) oranı ise %23,80 bulunduğu ve Elk2 numunesinde illit ve klorit, Elk6 numunesinde ise kalsit mineralinin bulunduğu belirtilmiştir.

Ural ve Akyıldız (2004) tarafından düşük kömürleşme derecesine sahip Elbistan ve Tufanbeyli linyit numunelerinin Hardgrove Öğütülebilirlik İndisi'ne (HGI) mineral madde miktarının etkileri araştırılmıştır. Orijinal kömür örneklerinin X-ışını difraktogram çekimleri, Rietveld yöntemi ile çalışan SIROQUANT yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş ve kristal formdaki mineraller ve bunların miktarları belirlenmiştir. Toplam mineral madde miktarının önemli bir kısmını oluşturan ve kristal formda olmayan inorganik maddelerin miktarını belirlemek için, Ward'un (1991) kullandığı teknik esas alınarak, özütleme (liç) yöntemi kullanılmıştır. Kömür örneklerinin Hardgrove Öğütülebilirlik İndisi ve standart kısa analizi ASTM standartlarına göre, petrografik analizi ise nokta sayma yöntemi kullanılarak yapılmıştır. X-ışını difraksiyon (XRD) analizi ile orijinal kömür örneklerinde belirlenen mineraller; kuvars, jips, kalsit, aragonit, feldispat, jarosit, pirit, götit, kaolinit, illit, klorit ve halloysit'tir. Elbistan kömür örneklerinin, Hardgrove öğütülebilirlik indisi (HGI) değerinin 39-83 (E1-E23); Tufanbeyli kömür örneklerinin ise 48-69 (T1-T6) arasında değiştiği belirtilmiştir. Kantitatif X-ışını difraksiyon (XRD) analizi sonucuna göre, kömür örneklerindeki jips, kuvars, kil ve karbonat minerallerinin, diğer minerallerden %90'dan daha fazla olduğu bulunmuştur. Kömür numunelerinin suda ve asitte çözünebilir içerikleri %18-62 arasında değişmiştir. SPSS yazılım paketi kullanılarak elde edilen verilerin istatistiksel analizi yapılmıştır. Buna göre kömür numunelerinin suda ve asitte

çözünebilir mineral madde miktarlarının, düşük kömürleşme derecesine sahip kömürlerin öğütülebilirliğine büyük etki yaptığı; yüksek kül ve suda ve asitte çözünebilir miktarına sahip kömür örneklerinin yüksek Hardgrove öğütülebilirlik indisi (HGI)'ne, yüksek kül ve düşük suda ve asitte çözünebilir içeriğine sahip kömür örneklerinin ise düşük Hardgrove öğütülebilirlik indisi (HGI)'ne sahip olduğu saptanmıştır.

Karayiğit ve ark. (2005) tarafından Soma termik santralindeki beslenen kömür numuneleri, taban külleri ve uçucu küllerinin faz-mineral ve kimyasal bileşimi karakterize edilmiştir. Beslenen kömür numuneleri termik santralindeki kömür değirmenlerinden; taban külleri kazan altındaki su tanklarından ve uçucu küller ise farklı elektrostatik çöktürücü zincir alanlarındaki silolardan alınmıştır. Beslenen kömür numuneleri ve uçucu kül numunelerine, eleme ve su liçi gibi birçok ayırma yöntemi uygulanmıştır. Beslenen kömür ve uçucu kül numunelerindeki suda çözünebilen artıklar, liç sıvılarının kristalizasyonu ve buharlaştırılması ile izole edilmiştir. Beslenen kömür, taban külü ve uçucu kül örnekleri ve ayrılan fraksiyonlarının faz-mineral bileşimi, ışık mikroskobu, tarayıcı elektron mikroskobu (SEM), toz X-ışını difraksiyon (XRD), diferansiyel termal analiz (DTA) ve termogravimetrik analiz (TGA) yöntemleri ile araştırılmıştır. Beslenen kömür örneklerinin kükürt'ü drene edilmiş ve nem ve kalsiyum'ca çok yüksek küllü yarı bitümlü kömür olduğu; beslenen kömür, taban külü ve uçucu kül örneklerinin faz-mineral ve kimyasal bileşiminin farklı bölgesel kömür tiplerine rağmen büyük varyasyonlar göstermediği; bununla beraber Deniz madeninden üretilen kömürdeki suda çözünebilen artık, taban külü ve uçucu kül örneklerinin iz elementlerinin Soma havzasındaki merkez madenden üretilen örneklerinden daha çok olduğu; beslenen kömür örneklerinin orta detritik mineral çokluğuna sahip olduğu belirtilmiştir. Beslenen kömür örneklerinin inorganik bileşiminde kalsit, kuvars, kaolinit, illit+müskovit, klorit, plajiolit, jips, pirit, montmorillonit, K-feldispat, dolomit, siderit, ankerit, opal ve volkanik cam bulunduğu tespit edilmiştir. $Ca > Nb > Cs > (V, Li)$ gibi elementlerin beslenen kömür örneklerinde, kömür küllerinin Clarke değerlerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Beslenen kömür örneklerinden izole edilen CWR (kömürdeki suda çözünebilen artıklar)'ın bileşiminde jips, kalsit,

inorganik amorf madde, Ca-Mg-Na-K faz ve opal içerdiği belirlenmiştir. CWR (kömürdeki suda çözünebilen artıklar), beslenen kömür örnekleri ile karşılaştırıldığında Na>Se>S>B>Mg>Sr>Ca>K elementlerince zengin olduğu ve bu gibi mobil elementlerin kömür madenciliği ve üretimi süresince çevreyi kirlettiği belirlenmiştir. Taban külü ve uçucu kül örneklerinin faz-mineral bileşiminde başlıca cam, kuvars, kok, müllit, plajioloklas, kalsit ve porlandit, çok az miktarda illit+müskovit, melilit, hematit, anhidrid, kalsiyum oksit, kristobalit, kaolinit ve magnetit içerdiği ve ayrıca Fe-spinel, jips ve Ca-K-Na fazları da bulunmuştur. Uçucu kül, taban külü ile karşılaştırıldığında düşük miktarda mineral madde, kok, kuvars, kil mineralleri, melilit, portlandit ve karbonat içeriğine ve yüksek miktarda hacim yoğunluğuna, inorganik madde, kristobalit, müllit, Fe oksitler, kalsiyum oksit ve anhidrid içerdiği belirlenmiştir. Taban külü ve uçucu kül örneklerindeki başlıca mineraller biraz kuvars, kil ve mika mineralleri, feldispatlar, karbonatlar ve cam; kömürün yanması süresince oluşan ikincil mineral ve fazlar kuvars, kristobalit, metakaolinit, metailit, müllit, feldispatlar, melilit, Fe oksitler, kalsiyum oksit, portlandit, karbonatlar, anhidrid, cam ve kok; üçüncü mineraller ve fazlar ise portlandit, karbonatlar ve jips olduğu; taban külü ve uçucu kül örneklerinin verilerine göre sadece selenyum'un, beslenen kömür külleri ile karşılaştırıldığında yüksek miktara sahip olduğu; iz elementlerinin çoğunun uçucu kül örneklerinde bulunduğu; taban külü örneklerinde çok miktarda Ca, Cs, Fe, Ho, Mn, P, Sc, Se ve Tb elementi içerdiği ve bu gibi elementlerin zenginleştirilmesi veya kullanımının yanma süresince elementlerin buharlaşma-yoğunlaşma ve tanecik bölünmesi ile ilgili olduğu belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Kömür Örnekleri

Bu tez çalışmasında, Türkiye'nin sekiz değişik yöresinden toplanan Çayırhan, Elbistan, Ermenek, Orhaneli, Soma, Tufanbeyli, Tunçbilek linyit kömürleri ile Zonguldak taşkömürü kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kömür örneklerinin lokasyonları Şekil 3.1'de görülmektedir.

3.1.1.1. Çayırhan / ANKARA Havzası

Bu linyit numunesi, Beypazarı – Çayırhan sahasının A sektörü yer altı ocağından alınmıştır. Havzadaki Neojen öncesi kayaçlar, Paleozoik ayrılmamış şistler ile Paleosen-Eosen flüvyatil bir fasiyeste gelişmiştir. Çayırhan linyit havzası, Miyosen yaşlı yedi ayrı formasyondan oluşmaktadır. En altta olan ve içerisinde kömür damarı bulunan formasyon, kumtaşı, aglomera ve tüfit ardalanmasından oluşur. Bitümlü şeyl ve doğal soda (trona) içeren ve kireçtaşıdan ibaret formasyondan sonra gelen diğer dört formasyon, volkano-tortul kayaçlardır. Havzada Pliyosen kumtaşı, kıltaşı, alçıtaşı ve killi kireçtaşı, Pleistosen tutturulmamış çakıllar ve Holosen teras çakılları, yamaç molozları ve alüvyonlar da yer alır. Alt Miyosen yaşlı olan bu linyit parlak renklidir. Kömürün ortalama kalınlığı 2,98 metre, ortalama derinliği 247,69 metre'dir. Kömürün yayılım alanı 60 km²'dir. Orijinal kömür; %21,71 nem, %34,35 kül, %4,04 kükürt içeriğine ve 2557 kcal/kg AID değerine sahiptir. Kömürün yoğunluğu 1,40 ton/m³'dür (Gökmen ve ark., 1993).

3.1.1.2. Elbistan / K.MARAŞ Havzası

Bu linyit numunesi, Afşin – Elbistan sahasının 5. basamakta belirlenen örnekleme yerinde açılan muayene çukurundan blok numune şeklinde alınmıştır. Havzadaki Neojen öncesi kayaçlar, Permokarbonifer kireçtaşları, Üst Kreatese kireçtaşları, Eosen kireçtaşları ve ofiyolitlerden oluşmaktadır. Üst Kreatese kireçtaşları NW-SE doğrultulu ve kuzeye eğimlidir.



Şekil 3.1. Bu çalışmada kullanılan kömür örneklerinin lokasyonları (Karayiğit, 2000)

Eosen oluşuklar havzanın güneyinde yer alıp, Permokarbonifer ve Üst Kreatese kireçtaşlarının üzerinde uyumsuz olarak bulunur. Serpantinlerden oluşan ofiyolitler ise havzanın güneybatısında geniş alanlar kaplarlar. Havzanın dolgu kayaçları limnik ve flüvyatil fasiyesteki kayaçlardan oluşmaktadır. Neojen çökelleri limnik fasiyeste olup, tabanını kil, marn, çakıllar ve siltler oluşturur. Tabandaki kil ve marnların üzerinde gidyalar yer alır ve linyit damarı içerir. Havzada kömür seviyesinin üzerinde, yer yer kömürlü seviyeler içerisinde rastlanan gidyalar, organizmaların çürümesinden oluşmuştur. Üstte limnik çökellerin son fazını oluşturan tatlı su kireçtaşları bulunur ve bunun üzerinde Neojen sonrası oluşuklar olarak flüviyal kökenli çakıllar, kumlar ve balçık bulunmaktadır. Havzadaki kömür oluşumu Pliyosen yaşlıdır. Kömürün ortalama kalınlığı 39,58 metre, ortalama derinliği 50 metre'dir. Kömürün yayılım alanı 120 km²'dir. Orijinal kömür; %50 nem, %20 kül, %1,46 kükürt içeriğine ve 1050 kcal/kg AİD değerine sahiptir. Kömürün yoğunluğu 1,20 ton/m³'dür (Gökmen ve ark., 1993).

3.1.1.3. Ermenek / KARAMAN Havzası

Bu linyit numunesi, Ermenek sahasının Polat Madencilik açık işletmesinden alınmıştır. Havzadaki Mesozoyik (Jura-Kreatese) ofiyolit ve kalkerler temel kayaçları oluşturmaktadır. Serpantin ve kalkerler üzerine uyumsuz olarak gelen Neojen kayaçlarının tabanını kil ve kumtaşları oluşturur. Bunun hemen üzerinde

kömür damarı bulunur. Kömürün tavanında marnlar yer alır. Yer yer kömürleşmiş bitki artıkları ve bol planorbis kavrıkları içerir. Neojen'in en üst seviyesinde mornokalkerler yer alır. Orta-Üst Miyosen yaşlıdır. Kuvaterner moloz örtü ile kaplıdır. Kömürün ortalama kalınlığı 4 metre, ortalama derinliği 150 metre'dir. Kömürün yayılım alanı 0,344 km²'dir. Orijinal kömür; %14,59 nem, %37,44 kül içeriğine ve 3262 kcal/kg AID değerine sahiptir. Kömürün yoğunluğu 1,20 ton/m³'dür (Gökmen ve ark., 1993).

3.1.1.4. Orhaneli / BURSA Havzası

Bu linyit numunesi, Orhaneli - Gümüşpınar sektörünün 3. basamağından orijinal ve ara kesme olmak üzere iki farklı şekilde alınmıştır. Havzada temeli kristalize kireçtaşları ve ofiyolitlerden oluşan kayaçlar yer almaktadır. Neojen birimleri altta detritik çökeller, üstte volkanitler olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Üst Miyosen detritik çökeller taban konglomerası ile başlar, kömürlü horizon, marn ve tüfitler ile son bulur. Taban konglomerası serpantinlerin üzerinde olup, kristalize kireçtaşı, serpantinit, radiolarit gibi temel kayaçlardan oluşmaktadır. İstif, tane boylarına göre konglomera, kumtaşı, killi kum, kumlu kil ve marnlar şeklinde çökelmiştir. Taban konglomerasının üzeri marn ve tüfitlerden oluşur ve linyit damarı içerir. Bunun üzerine uyumsuz olarak Pliyosen tüfler gelir. Havzada üretilen kömür sert ve kaliteli bir linyittir. Kömürün yaşı Mio-Pliyosen'dir. Orijinal kömür; %21-25 nem, %14-43 kül içeriğine ve 2134-3412 kcal/kg AID değerine sahiptir. Kömürün yoğunluğu 1,50 ton/m³'dür (Gökmen ve ark., 1993).

3.1.1.5. Soma / MANİSA Havzası

Bu linyit numunesi, Ege Linyitleri İşletmesi, Eynez ocağından alınmıştır. Havzadaki Paleozoik metamorfik şistler ve gravaklar ile Mesozoyik kristalize kireçtaşları temel kayaçları oluşturmaktadır. Temeli oluşturan kayaçlar üzerinde uyumsuz olarak Miyosen çakıltı-kumtaşı-kil ardalanması yer alır. Bunun üzerinde uyumlu olarak linyitli zon bulunur. Daha sonra bol miktarda yaprak ve bitki fosili içeren marn ve killi kireçtaşları vardır. Üst seviyelerde ise yer yer ekonomik olabilecek linyitli zon bulunur. Miyosen birim üzerinde uyumsuz olarak Pliyosen

kumtaşı, çamurtaşı, alacalı kil, tuf, andezitik tuf bazalt, aglomera, varvalı kil, konglomera, silisifiye kireçtaşı ve tüfit bulunur. Pleistosen kil, kum, çakıl, tuf, tüfit, kireçtaşı ve örtü volkanitleri ile Holosen taraça, alüvyon ve yamaç molozları da vardır. Havzadaki volkanik kayalar bazalt ve andezitler ile temsil edilmektedir. Kömürün ortalama kalınlığı 3-15 metre, ortalama derinliği 150 metre'dir. Kömürün yayılım alanı 16 km²'dir. Orijinal kömür; %12-15 nem, %30-47 kül, %1,29-1,45 kükürt içeriğine ve 1731-3428 kcal/kg AID değerine sahiptir. Kömürün yoğunluğu 1,56-1,7 ton/m³ arasında değişmektedir (Gökmen ve ark., 1993).

3.1.1.6. Tufanbeyli / ADANA Havzası

Bu linyit numunesi, Zafer Madencilik A. Ş. tarafından bölgede gerçekleştirilen Z-13 no.'lu karotlu sondaj kuyusundan alınmıştır. Havzadaki Neojen öncesi kayalar, Paleozoik ve Mesozoyik kireçtaşları, dolomitik kireçtaşları, kuvarsit ve şeyl'ler ile temsil edilmektedir. Bu temel üzerinde doğrudan uyumsuz olan Pliyosen çamurtaşı, kumtaşı, konglomera, tüfit ve linyit bulunmaktadır. Havzanın büyük bölümü toprak örtü ile kaplıdır. Neojen öncesi çökeller alüvyonlar ile temsil edilirler. Kömürün ortalama kalınlığı 17,88 metre, ortalama derinliği 111 metre'dir. Kömürün yayılım alanı 13,35 km²'dir. Orijinal kömür; %43,37 nem, %25,47 kül içeriğine ve 1361 kcal/kg AID değerine sahiptir. Kömürün yoğunluğu 1,40 ton/m³'dür. Havzanın toplam rezervi 334.481.000 ton (1990 MTA rakamı) olmasına karşı, havzada üretim yapılmamaktadır (Gökmen ve ark., 1993).

3.1.1.7. Tunçbilek / KÜTAHYA Havzası

Bu linyit numunesi, Tunçbilek sahasının Ömerler yer altı ocağından alınmıştır. Havzadaki Mesozoyik ultrabazik kayalar ve radiolaritler temel kayaları oluşturmaktadır. Temel kayalar üzerinde uyumsuz olarak Miyosen, yer yer gevşek, yer yer de sıkı tutturulmuş kumtaşı ve konglomera ile başlar. Kumtaşı ve konglomera araldanmalı olup, içerisinde yer yer linyit izli marn-kil seviyeleri ile merceksel linyit oluşumları görülür. Bunun üzerinde uyumlu olarak marn, killi marn, siltli marn, silttaşı, kumtaşı, milttaşı, araldanması yer alır. Yer yer merceksel kumtaşı-konglomera ara katkıları içerir. Seyrek olarak gastropod ve ostrocod fosillidir. Alt

seviyeler bol bitki kalıntısı içerir. Miyosen'in en üst seviyesi kireçtaşı ve silisifiye kireçtaşlarından oluşmaktadır. Seyrek olarak gastropod fosillidir. Yer yer marn-kil ara katkılı yer yer de ekonomik olmayan kömürlü seviyeler içermektedir. Havzada Pliyosen tüfitler de yer almaktadır ve oldukça geniş alanlar kaplamaktadır. Kömürün maksimum kalınlığı 14,75 metre, maksimum derinliği 828 metre'dir. Kömürün yayılım alanı 23 km²'dir. Bu havzada üretilen kömür sert ve parlaktır. Orijinal kömür; %10-15 nem, %38-48 kül, %1,46-2,29 kükürt içeriğine ve 2021-2657 kcal/kg AID değerine sahiptir. Kömürün yoğunluğu 1,40 ton/m³'dür (Gökmen ve ark., 1993).

3.1.1.8. Zonguldak Havzası

Bu taşkömürü numunesi, stok sahasından alınmıştır. Havza, taş kömürü oluşumlarına göre, Batı'dan Doğu'ya doğru; Armutçuk, Zonguldak, Amasra, Pelitovası ve Söğütözü-Azdavay karbonifer pencerelerinden oluşmaktadır. Armutçuk karbonifer penceresi aşağıdan yukarıya doğru birbirleri ile uyumlu karbonifer Namuriyen ve Westfaliyen A katlarına ayrılır. Namuriyen katının kalınlığı 1000-1200 metre arasında değişir ve çok ince taneli kumtaşları ile şistlerden oluşur. Westfaliyen katının kalınlığı ise 250-300 metre arasında değişir ve iri çakıllı konglomera ile kumtaşlarından oluşur. Namuriyen katında yer yer üretime elverişli 12 kömür damarı, Westfaliyen katında ise 5 adet kömür damarı olup, üretimin çoğu bu damardan yapılmaktadır. Zonguldak karbonifer penceresi aşağıdan yukarıya doğru Namuriyen, Westfaliyen A, B, C ve D karbonifer katlarından oluşmaktadır. Bunlardan alt Westfaliyen A katına Kılıçlar serisi, Westfaliyen A katına Kozlu serisi, Westfaliyen B, C ve D katlarına da Karadon serisi adı verilmektedir. Namuriyen katı killi şist, kömürlü şist ve ince taneli kumtaşlarından; Kozlu serisi küçük ve orta taneli konglomeralardan, kumtaşlarından ve killi şistlerden; Karadon serisi de iri çakıllı konglomeralardan oluşmaktadır. Bu seriler birbirleri ile uyumlu olup, ana ve tali faylarla parçalanmış ve tabaka yatımları 0°-90° arasında değişmektedir. Namuriyen katının kalınlığı 800-1200 metre arasında değişmekte ve üretime ekonomik açıdan elverişli olmayan 35 kömür damarı; Kılıç serisinin kalınlığı 350-400 metre ve 4 kömür damarı; Kozlu serisinin kalınlığı ortalama 700 metre olup, üretime çok elverişli çeşitli kalınlıklarda 23 işletilebilir kömür damarı; Karadon serisinin kalınlığı

ise 300-600 metre ve adese şeklinde değişik kalınlıklarda ekonomik olarak işletilmeyen 5 veya 6 kömür damarı bulunmaktadır. Amasra karbonifer penceresi birbirleri ile uyumlu olarak, tabandan tavana doğru Dinansiyen, Westfaliyen A, B, C ve D katlarından oluşur. Namuriyen 400 metre, Westfaliyen A 600 metre, B 700 metre, C 300 metre kalınlığa sahiptir ve 19 kömür damarı içermektedir (Türkiye Taşkömürü Kurumu, 1990).

3.2. Metot

3.2.1. Kırma, Öğütme ve Eleme

Bu çalışmada kullanılan kömür örnekleri, Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü kırma ve öğütme laboratuvarında çeneli kırıcı ile kırılmış, pülverizatörde öğütülmüş ve elek açıklığı 212 µm olan elek ile elenmiştir.

3.2.2. Kısa Analiz

Orijinal kömür numunelerine TSE standartlarına uygun olarak; nem (TSE 438), kül (TSE 330, TSE 1042), uçucu madde (TSE 711, TSE 5071) tayinleri, Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır.

3.2.3. Kömür Küllerinin Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

Orijinal kömür örnekleri, Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında 750°C’de kül haline getirilmiş ve TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Malzeme ve Kimya Teknolojileri Araştırma Enstitüsü’nde bir Philips PW-2404 model dalga boyu dağılımlı X-ışını Flüoresan Spektrometre (XRF) cihazı ile yarı kantitatif element analizi yaptırılmıştır.

3.2.4. Kömürlerin Mineral Madde Miktarı Tayini

3.2.4.1. Özütleme (Liç) Yöntemi ile Suda ve Asitte Çözünebilen Mineral Madde Miktarı

Kömür numunelerinin suda ve asitlerde çözünebilen inorganik madde miktarını belirlemek için, Ward (1991)’un kullandığı teknik esas alınarak, numunelere Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında

özütleme (liç) yöntemi uygulanmıştır. Özütleme deneyi sıvılarının kimyasal analizleri de Çukurova Üniversitesi Jeoloji ve Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında ASS yöntemi ile yaptırılmıştır.

Toplam mineral madde miktarının önemli bir kısmını oluşturan ve suda ve asitlerde çözünebilen inorganik madde miktarını belirlemek üzere kömür numunelerine önce su banyosu, daha sonra da amonyum asetat ve HCl asit ile muamele edilerek, mineral maddenin suda ve asitte çözünen kısmı ağırlıkça belirlenmiştir.

Ward (1991)'un önerdiği teknik aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır.

- Her bir örnekten yaklaşık 3 gram malzeme pülverizatörde öğütülür, kurutulur ve hassas terazide tartılır.
- Tartılan numuneler santrifüj tüpüne konulur, birkaç damla alkol ile ıslatılır, birkaç dakika bekletildikten sonra 100 ml saf su eklenir ve tüpler 80°C'de 6 saat su banyosunda bekletilir (Şekil 3.2). Tüpler belli periyotlarda çalkalanarak karışma sağlanır ve 6 saatlik su banyosunun ardından 12 saat oda sıcaklığında soğumaya bırakılır.
- Soğuyan karışım santrifüj edilerek, katı ve sıvının ayrışması sağlanır. Liç işleminde kullanılan sıvı santrifüjle ayrıldıktan sonra, pH'ları belirlenir ve kimyasal analiz için saklanır.
- Saf su ile yapılan işlem ikinci kez de aynen tekrar edilir ve saf su liçindeki malzemenin ağırlıkça kaybı belirlenir.
- İkinci aşama olarak saf su liçinden sonra kalan malzemeye 100 ml 1 M amonyum asetat eklenir ve 24 saat boyunca belli aralıklarla çalkalanır. 24 saat sonunda santrifüj edilerek sıvı kimyasal analiz için saklanır ve ikinci aşamadaki ağırlıkça kayıp belirlenir.
- Son olarak amonyum asetat liçinden sonra kalan malzemeye, ilk olarak 100 ml 1 M HCl asit eklenir, birkaç saat su banyosuna bırakılır ve 2 gün oda sıcaklığında bekletilir. Santrifüj edilen karışımdan sıvı ile katı ayrılır ve sıvı kimyasal analiz için saklanır. Kalan malzemeye ise tekrar 100 ml 0,1 M HCl asit eklenerek, aynı işlem ikinci kez tekrarlanır.

- İlk deneye başlanırken hassas terazide tarttığımız malzemeyi son olarak üç liç aşamasından sonra tekrar hassas terazide tartarak ağırlıkça toplam kayıp miktarı belirlenir.
- Her aşama sonunda kimyasal analiz için ayrılan sıvılar, ayrıntılı kimyasal analizler ile numunedeki suda ve asitte çözünebilen inorganik maddeler ve miktarları tespit edilir.



Şekil 3. 2. Kömür örneklerinin 80°C’de 6 saat su banyosunda bekletilmesi

3.2.4.2. Toplam Mineral Madde Miktarı Tayini

3.2.4.2.(1). Düşük Sıcaklık Külü

Özütleme (liç) yönteminden sonra, geriye kalan numunelerden AS 1038.22 (2000) standardına uygun olarak 370°C’de Düşük Sıcaklık Külü (DSK) ile Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında kül elde edilmiştir.

Kömür numuneleri 370°C sıcaklıkta ısıtılarak oksitlenmiş; organik madde, düşük sıcaklık oksidasyon artığının elde edilmesi için, minerallerin ayrıştırılması ile uzaklaştırılmıştır. Sonra oksidasyon artığı atmosferde dengeye getirilerek tartılmıştır.

370°C Düşük Sıcaklık Külü yöntemi aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır.

- İki veya daha fazla kroze tartılır (m_1). Kroze içerisine tayin metoduna göre numuneden bir miktar konulur ve tartılır (m_2).
- Krozeler önceden 200°C'ye getirilmiş fırına konulur. Fırının sıcaklığı 2 saat sonra 370°C'ye artırılır ve bu sıcaklık numune oksitleninceye kadar korunur.
- Her gün iki kez, çalışma başlangıcında ve sonunda krozeler fırından uzaklaştırılır ve numune karıştırılır. Sonra krozeler tekrar fırına konularak oksidasyon işlemine devam edilir.
- İkinci günden sonra kül havana konulur ve oksitlenmemiş karbonun serbest kalması için öğütülür.
- (4) ve (5) basamaklar tekrar edilir ve üniform kül elde edilinceye kadar fırında krozelerin yerleri değiştirilir.
- 5. günün sonunda krozeler fırından uzaklaştırılır ve soğumaya bırakılır. Krozeler 1 gece laboratuarda bekletilir ve sonra tartılır (m_3).

Yöntemin sonunda, sadece oksidasyon artığı miktarının, havada kuru bazda (hkb) ağırlıkça (%) yüzdesi aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir.

- Oksidasyon artığı

$$R_{ad} = ((m_3 - m_1) / (m_2 - m_1)) * 100$$

Burada;

m_3 = Krozenin kül ile birlikte ağırlığı (gr)

m_2 = Krozenin numune ile birlikte ağırlığı (gr)

m_1 = Boş krozenin ağırlığı (gr)

3.2.4.2.(2). Parr Yöntemi ile Mineral Madde Miktarı Tayini

Mineral madde miktarını belirlemede kullanılan yaklaşımlardan biri, bir kömür örneğindeki inorganik maddelerin miktarı ve kömür külünün kombinasyonundan mineral madde miktarını hesaplamaktır. Bu nedenle, bir kömür numunesinin mineral madde miktarını belirlemek için türetilmiş formüller

bulunmaktadır. Bunlardan biri yüksek sıcaklıkta külleştirmeden yararlanılan Parr (1928) formülü'dür.

$$M.M. (\%) = 1.08 * K\ddot{u}l (\%) + 0.55 * S \quad (3.1)$$

şeklindedir. Bu ifadelerdeki M.M. (%) mineral madde yüzdesini, S ise kömürün toplam kükürt içeriğini göstermektedir.

Buna göre kömür numunelerinin mineral madde miktarlarını belirlemek için, yukarıdaki formüle göre, kömür örneklerinin TSE 330 ve TSE 1042 standartlarına göre belirlenen kül miktarları ve TSE 363 standardına göre belirlenen toplam kükürt miktarları kullanılarak, mineral madde miktarları hesaplanmıştır.

3.2.4.2.(3). Kızdırma Kaybı Yöntemi ile Mineral Madde Miktarı Tayini

Orijinal kömür örneklerinin, Karayiğit (2005) tarafından önerilen teknik esas alınarak, 15°C / dakika sıcaklık artışı ile 4 saat 750°C sıcaklıkta fırında bekletilerek inorganik madde ve organik madde miktarları belirlenmiştir. Kömür örneklerinin kızdırma kaybı için öncelikle, bir veya birkaç kroze 750°C sıcaklıkta fırında sabit tartıma getirilmiştir. Daha sonra krozeler içerisine kömür örneklerinden 1 gr konularak, 750°C sıcaklıkta fırında 4 saat yakılmıştır. Bu süre sonunda krozeler fırından çıkarılarak, 15 dakika desikatörde soğumaya bırakılmıştır ve sonra tartılmıştır. Yöntemin sonunda, kömür örneklerinin havada kuru bazda (hkb) inorganik madde miktarları belirlenmiştir.

3.2.5. Mineralojik Analiz

Orijinal kömür örneklerinin mineralojik analizi, X-ışını difraksiyon (XRD) yöntemi ile Anadolu Üniversitesi, Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilmiştir. XRD çekimleri, 2θ 10° ile 45° arasında yapılmış ve sonuçlar bilgisayar dosyası olarak kaydedilmiş ve mineral faz analizleri yapılmıştır.

3.2.6. Düzeltilmiş Darbe Dayanım Deneyi

Kömür örneklerinin darbe dayanım deneyi, Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. Düzeltilmiş darbe deneyinin yapılabilmesi için gerekli başlıca aygıtlar şunlardır (Ural, 1999);

- Terazi, 0,01 gram doğrulukla 100 grama kadar tartılabilmelidir.
- Terazi, 1 gram doğrulukla 1500 grama kadar tartılabilmelidir.
- 4 mesh ve 3,15 mm ebadında tel örgülü iki adet elek ile kapak ve tavası
- Mekanik eleme aygıtı

Düzeltilmiş darbe dayanım ölçme aygıtı (Şekil 3.3); bilinen darbe dayanım ölçme aygıtından farklı ölçülerde imal edilmiştir. Deneylerde 4795 gram ağırlığındaki çekiç, numune üzerine 10 cm yüksekliklerden 2 defa düşürülmüş ve uygulanan enerji:

$$\text{Enerji} = 0,10 \text{ (m)} * 4.795 \text{ (kg)} * 9,81 \text{ (m/sn}^2\text{)} * 2 \text{ (darbe sayısı)}$$

$$\text{Enerji} = 14,1116 \text{ joule}$$

Örneklerin hazırlanması aşaması aşağıdaki gibidir;

- 1 kg son numune 24-48 saat havada kurutulur ve tartılır. Kurumuş numuneler, üst eleği 4 mesh ve alt eleği 3,15 mm elek açıklığında olan elek dizisi ile eleme aygıtına yerleştirilir ve 2 dakika süre ile elenir. Elek üstünde kalan malzeme tekrar kırılır ve elenir. Bu işlem, elek üstünde kalan numuneler 4 mesh elekten geçene kadar tekrarlanır.
- 4 mesh elek altına geçen ve 3,15 mm elek üstünde kalan kömür iyice karıştırılarak, her biri $13,11 \pm 0,01$ gram ağırlığında 5 adet deney numunesi hazırlanır.
- Numune darbe dayanım ölçme aygıtının haznesine yerleştirilerek çekicinin düşme yüksekliği 10 cm uzunluğundaki master çubuk ile kontrol edilir.
- Çekiç haznedeki numune üzerine üç defa düşürülür.
- Numune kabındaki kömür 3,15 mm eleğe boşaltılır ve eleme aygıtında 10 dakika süre ile elenir. 3,15 mm elek üstünde kalan numune tartılır (m_1).
- Bu işlem 5 deney numunesi için de tekrarlanır.

Yapılan deneylerin sonunda 3,15 mm elek üstü tartılarak, aritmetik ortalaması (m_{ort}) alınır.

$$m_{ort} = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5) / 5$$

$$MISI = m_{ort} / 13,11 * 100$$

$$m_{ort} = 3,15 \text{ mm elek üstü malzemenin ortalama ağırlığı (gr)}$$

MISI = Düzeltilmiş darbe dayanım indisi (%)



Şekil 3.3. Düzeltilmiş Darbe Dayanım Ölçme Aygıtı (Ural, 1999)

3.2.7. Kömürde Kükürt Analizleri

Kömür örneklerinin TSE standartlarına uygun olarak; toplam kükürt (TSE 363), sülfat kükürt ve piritik kükürt (TSE 329) tayini, Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü kimya laboratuvarında yapılmıştır.

3.2.7.1. Toplam Kükürt Tayini

Kömür örnekleri, yanabilen maddelerin giderilmesi ve sülfür kükürdünün sülfat kükürdüne çevrilmesi için Eschka karışımı ile iyice karıştırılmış, oksitleyici bir atmosferde yakılmış ve gravimetrik yöntemlerden sulu ekstraksiyon ile toplam kükürt miktarı belirlenmiştir.

25 ml'lik bir porselen kroze'ye 0,5 gram Eschka karışımı (2 MgO+1 NaCO₃) düzgünce yayılmıştır. Hassas olarak tartılan 1 gram kömür örneği, 2,5 gram Eschka karışımı ile iyice karıştırıldıktan sonra porselen kroze'ye konulmuş, üzeri 1 gram Eschka karışımı ile örtülmüştür. Kroze soğuk fırına konulmuş, sıcaklık yaklaşık 1 saatte 800±25°C'ye yükseltilmiştir ve fırın bu sıcaklıkta 1,5 saat bekletilmiştir. Krozedeki yakılmış karışım, içerisinde 150-200 ml saf su bulunan 400 ml'lik behere aktarılmıştır. Kroze 50 ml sıcak saf su ile yıkanmış ve yıkama suları da behere katılmıştır. Beherin içinekilere 1 ml hidrojen peroksit (H₂O₂) ilave edilmiştir ve karışım 80°C'de 30 dakika ısıtılmıştır. Daha sonra karışım 400 ml'lik geniş ağızlı bir erlene süzülüş, 100 ml sıcak saf su ile yıkanmıştır. Yıkama sonunda, süzöntü hacminin 150-250 ml arasında olması sağlanmıştır. Süzöntü H₂O₂'in giderilmesi için kaynatılmış ve bu işlem tamamlandığında 2-3 damla metil kırmızısı çözeltisi damlatılmış, renk kırmızıya dönüşünceye kadar damla damla HCl asit ilave edilmiştir. Çözelti CO₂'i gidermek için kaynayıcaya kadar ısıtılmıştır ve kaynama sonunda sıcaklık yavaş yavaş azaltılmış, sonra karışım karıştırılırken tam orta noktasından 20 sn.'de 10 ml BaCl₂ çözeltisi ilave edilmiş ve 1 gece çökmesi için bekletilmiştir. Karışım külsüz ince nesiçli, asitle iki kez yıkanmış süzgeç kağıdından süzülüş ve süzgeç kağıdı 250 ml kadar sıcak saf su ile yıkanmıştır. Yaş süzgeç kağıdı, önceden sabit tartıma getirilmiş platin kroze'ye konulmuş, 800±25°C sıcaklıktaki fırında 15 dakika süre ile kızdırılmıştır ve sonra soğutularak tartılmıştır.

Şahit Deney: Aynı şartlar altında kömür kullanılmadan kör deneme yapılmıştır. Metil kırmızısı katmadan önce süzöntüye 10 ml ayarlı sülfat çözeltisi ilave edilmiştir.

$$\% \text{ Toplam kükürt} = 13,74 * (a - b + 0,0080) / m$$

Burada;

m = Kömür miktarı (gr)

a = Saptanan BaSO₄ ağırlığı (gr)

b = Şahit deneyde saptanan BaSO₄ ağırlığı (gr)

3.2.7.2. Sülfat Kükürt Tayini

Kömür örnekleri, seyreltik HCl asit ile ekstrakte edilmiş, gravimetrik yöntem ile sülfat miktarı belirlenmiştir.

Hassas olarak tartılan yaklaşık 5 gram numune 250 ml'lik şilifli bir erlene aktarılmıştır. Erlene 50 ml HCl asit çözeltisi ilave edilmiş ve bir soğuk uçlu soğutucu erlenin ağzına yerleştirilmiştir (Şekil 3.4). Karışım 30 dakika kaynatılmış ve karışım süzülerek, 120 ml HCl asit ile yıkanmıştır. Süzüntüye 1 ml bromlu su ilave edilmiş ve 5 dakika kaynatılmıştır. Sonra amonyak çözeltisi hafif bir fazlalık oluncaya kadar yavaş yavaş eklenerek demir çökeltiştir. Ayrıca 5 ml amonyak çözeltisi katılmıştır. Karışım siyah bantlı süzgeç kağıdından 250 ml'lik behere süzülmüştür ve sıcak saf su ile yıkanmıştır. Süzüntüye 2 – 3 damla metil oranj indikatörü damlatılmış ve renk değişinceye kadar HCl asit ile titre edilmiştir. Çözelti hacminin 150-250 ml arasında olması sağlanmıştır. Karışıma 10 ml ayarlı sülfat çözeltisi ilave edilerek kaynayınca kadar ısıtılmıştır ve kaynamanın sonunda ısı yavaş yavaş azaltılmıştır. Karıştırılmakta olan sıcak çözeltinin tam orta noktasına 10 ml soğuk BaCl₂ çözeltisi akıtılmış ve çözelti karıştırılmadan 1 gece çökmesi sağlanmıştır. Karışım süzülerek 250 ml sıcak saf su ile yıkanmıştır. Islak süzgeç kağıdı, önceden sabit tartıma getirilmiş platin krozeeye yerleştirilerek 800±25°C'de fırında 15 dakika yakılmış ve sonra soğutulularak tartılmıştır.

Şahit Deney: Aynı şartlar altında kömür kullanılmadan kör deneme yapılmıştır. Süzüntüye metil oranj indikatör çözeltisi katmadan önce 10 ml ayarlı sülfat çözeltisi ilave edilmiştir.

$$\% \text{Sülfat kükürt} = 13,74 * (a - b) / W$$

Burada;

W = Kömür miktarı (gr)

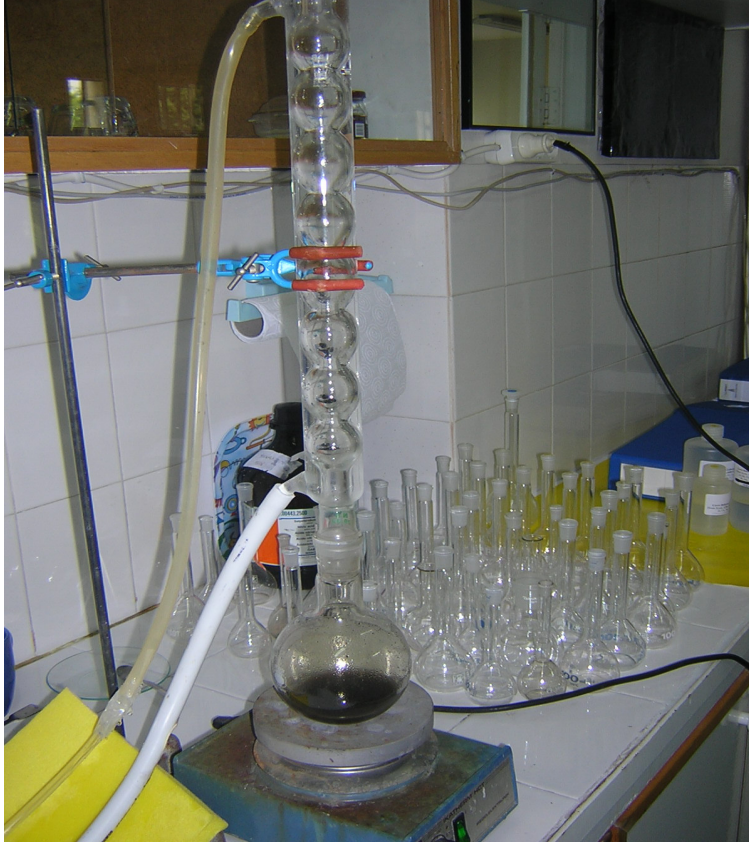
a = Saptanan BaSO₄ ağırlığı (gr)

b = Şahit deneyde saptanan BaSO₄ ağırlığı (gr)

3.2.7.3. Piritik Kükürt Tayini

Piritik kükürt seyreltik HCl asitte çözünmez, bu nedenle kömür örnekleri, seyreltik nitrik asitte kantitatif olarak çözünmüş, önce pirit halinde birleşmiş olan

demir miktarı tayin edilmiş ve oksidasyon yöntemi ile piritik kükürt içeriği belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Kömür numunelerinin HCl asit ekstraksiyonu

Hassas olarak tartılan 1 gram kömür numunesi bir erlene aktarılmıştır. Erlene 50 ml nitrik asit çözeltisi katılmış ve bir soğuk uçlu soğutucu erlenin ağzına yerleştirilmiştir. Karışım 30 dakika kaynatılmış ve süzülerek nitrik asit ile 6 kez yıkanmıştır. Süzüntüye 2 ml hidrojen peroksit (H_2O_2) katılmış ve 5 dakika kaynatılmıştır. Sonra amonyak çözeltisi hafif bir fazlalık oluncaya kadar yavaş yavaş akıtılarak demir çökeltiştir. Ayrıca 5 ml amonyak çözeltisi katılmıştır. Karışım süzülerek, sıcak saf su ile yıkanmıştır. Süzgeç kağıdı delinerek, çökelti sıcak saf su ile 500 ml'lik behere aktarılmıştır. Süzgeç kağıdına 10 ml HCl asit azar azar dökülmüş (Şekil 3.5) ve sonunda sıcak saf su ile yıkanmıştır. Çözelti hacmi 20 ml'ye getirilmiştir. Karışım kaynatılmış ve sarı renk kayboluncaya kadar damla damla



Şekil.3.5. Süzgeç kağıtlarına HCl asit dökülmesi

kalay-2-klorür çözeltisi ilave edilmiştir. Sonra karışıma 5 damla kalay-2-klorür çözeltisi damlatılmış ve oda sıcaklığına soğutulmuştur. Karışıma 10 ml cıva-2-klorür çözeltisi ipeğimsi görünmesi için eklenmiştir. Karışıma 15 ml sülfürik-fosforik asit karışımı katılarak saf su ile 150-200 ml'ye seyreltilmiş, 5 damla indikatör çözeltisi damlatılmış ve potasyum dikromat çözeltisi ile titre edilmiştir. Koyu mor-mavi bir renk meydana gelinceye kadar damla halinde dikromat katılmıştır. Titrasyon, numunedeki toplam demirin miktarını verecektir.

$$\% \text{ Piritik Kükürt} = 0,115 * ((a / W) - (b / X))$$

Burada;

a = W gram ağırlığındaki numunede toplam demire eşdeğer olan potasyum dikromat çözeltisinin hacmi (ml)

b = X gram ağırlığındaki numunede pirit halinde olmayan demire eşdeğer olan potasyum dikromat çözeltisinin hacmi (ml)

3.2.7.4. Organik Kükürt Tayini

Kömür örneklerinin toplam kükürt yüzdesi belirlendikten sonra, bundan sülfat ve pirit kükürt yüzdeleri çıkartılarak organik kükürt yüzdesi hesaplanmıştır (TSE 329).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kısa Analiz

Kömür numunelerine, TSE (438, 330, 1042, 711, 5071) standartlarına göre uygulanmış olan havada kuru bazda (hkb) kısa analiz sonuçları Çizelge 4.1’de görülmektedir. Kömür numunelerinin nem içeriği %10-26 arasında değişmektedir. Bölüm 3.1.1’de belirtilen kömür örneklerinin nem analiz sonuçlarına göre, Elbistan linyitinin nem içeriğinin (%12) ve Tufanbeyli linyitinin nem içeriğinin (%13) düşük olmasının nedeni, laboratuarda havada yüzey nemlerini kaybetmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kömür örneklerinin kül içeriği %7-41; uçucu madde içeriği % 11-52; sabit karbon içeriği %11-62 arasında değişmektedir.

Çizelge 4.1. Kömür numunelerinin TSE standartlarına göre havada kuru bazda (hkb) kısa analiz sonuçları

	Nem (%hkb)	Kül (%hkb)	Uçucu madde (%hkb)	Sabit karbon (%hkb)
Çayırhan	19,62	25,12	29,36	25,90
Elbistan	12,35	15,84	52,39	19,42
Ermenek	16,88	6,67	43,40	33,05
Orhaneli (ara kesme)	25,76	8,48	37,72	28,04
Orhaneli (orijinal)	24,64	12,63	39,59	23,14
Soma	15,10	25,09	26,17	33,64
Tufanbeyli	13,23	41,23	33,62	11,92
Tunçbilek	11,23	9,04	38,32	41,41
Zonguldak	10,30	15,77	11,90	62,03

4.2. Kömür Küllerinin Kimyasal Özellikleri

Kömür örneklerinin kimyasal analizleri, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM)’nde yaptırılmıştır. X-ışını flüoresans spektrometre (XRF) yöntemiyle yapılan kimyasal analizlerde, numunelerde Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, SO₃, K₂O, CaO ve Fe₂O₃ tespit edilmiştir (Çizelge 4.2).

Kömürlerin kimyasal analizleri incelendiğinde, Tufanbeyli linyitinin diğer kömürlere göre CaO (kalsiyum oksit) miktarının daha yüksek olduğu (%47) görülmektedir. Yaptığımız liç işleminde de HCl asitte, Tufanbeyli linyitinin reaksiyona girerek ağırlıkça %53’nün kayba uğraması, bu kimyasal analiz sonucunu doğrulamaktadır. Kömürlerin SiO₂ oranı %15-50 arasında değişmektedir. Ermenek

(%15), Orhaneli (ara kesme) (%16) ve Tufanbeyli (%17) linyitlerinde bu oran oldukça düşüktür. Kömürlerin Na_2O , MgO , K_2O ve Fe_2O_3 değerleri birbirine yakın ve oldukça düşüktür. Kömürlerin SO_3 oranı ise genelde %15-30 arasında iken, bu oran Soma (%4), Tunçbilek (%3) linyitleri ve Zonguldak taşkömürü (%6)'nde oldukça düşüktür.

Çizelge 4.2. Kömür Küllerinin kimyasal analiz sonuçları

	Na_2O (%)	MgO (%)	Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	SO_3 (%)	K_2O (%)	CaO (%)	Fe_2O_3 (%)
Çayırhan	1,12	3,15	13,02	42,08	15,58	1,24	9,04	13,81
Elbistan	0,10	2,63	13,35	25,15	25,43	0,66	25,78	5,32
Ermenek	0,90	9,13	9,99	15,67	27,46	0,36	22,97	11,93
Orhaneli (ara kesme)	0,10	4,24	14,24	16,80	32,77	0,71	22,69	7,18
Orhaneli(orijinal)	0,06	1,64	25,39	38,45	14,66	0,92	9,56	8,30
Soma	0,12	1,00	33,15	48,73	4,72	1,13	4,95	4,83
Tufanbeyli	0,03	0,85	11,15	17,50	16,64	0,53	47,13	5,13
Tunçbilek	0,04	1,69	26,71	49,75	3,23	1,04	2,68	13,44
Zonguldak	0,16	1,18	28,71	42,65	6,19	2,32	9,68	7,16

4.3. Kömürlerin Mineral Madde Miktarı

4.3.1. Suda ve Asitlerde Çözünebilen Mineral Madde Miktarı

Kömür numunelerine, suda ve HCl asitte çözünebilen inorganik madde miktarını belirlemek için özütleme (liç) yöntemi uygulanmıştır. Liç işleminde her aşamadaki malzeme kayıp miktarı hesaplanarak Çizelge 4.3.'de verilmiştir. Ayrıca özütleme (liç) deneyinden sonra elde edilen liç sıvılarının kimyasal analizleri, Çukurova Üniversitesi Jeoloji ve Maden Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında ASS yöntemi ile yaptırılmıştır ve Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çayırhan linyitinin mineral madde miktarının %51'lik kısmının suda ve asitlerde çözünebildiği saptanmıştır. Bu linyitin liç deney sıvılarının analizinde, Mg (89,4 ppm) ve Ca (175 ppm) elementinin büyük çoğunluğunun amonyum asetat çözeltisi ile serbest kaldığı görülmüştür. Özütleme (liç) işleminden sonra, oksidasyon

artığının oranı %30 olarak bulunmuştur. Liç deneyindeki saf su pH değeri ise bazik özelliği taşımaktadır.

Çizelge 4.3. Kömürlerin özütleme (liç) yöntemi deney sonuçları

	Numune Miktarı (gr)	Suda Kayıp		Amonyum Asetatta Kayıp		HCl Asitte Kayıp		Toplam Kayıp	
		(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)
Çayırhan	1,58	0,31	19,6	0,14	8,9	0,36	22,8	0,81	51,3
Elbistan	1,56	0,35	22,4	0,14	9,0	0,45	28,8	0,94	60,2
Ermenek	1,56	0,3	19,2	0,03	1,9	0,27	17,3	0,6	38,4
Orhaneli (ara kesme)	1,56	0,32	20,5	0,1	6,4	0,35	22,4	0,77	49,3
Orhaneli(orijinal)	1,57	0,27	17,2	0,09	5,4	0,24	15,3	0,6	37,9
Soma	1,54	0,24	15,6	0,06	3,9	0,2	13	0,5	32,5
Tufanbeyli	1,54	0,27	17,5	0,2	13	0,83	53,9	1,3	84,4
Tunçbilek	1,52	0,14	9,2	0,02	1,3	0,09	5,9	0,25	16,4
Zonguldak	1,58	0,03	1,9	0,01	0,6	0,05	3,2	0,09	5,7

Çizelge 4.4. Özütleme (liç) deneyindeki sıvıların kimyasal analiz sonuçları

	Saf Su		Amonyum Asetat			HCl Asit			
	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Fe (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Fe (ppm)	Al (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)
Çayırhan	44,3	75	-	89,4	175	320	40	60,1	150
Elbistan	11,4	50	-	57,2	375	112,5	60	35,8	350
Ermenek	2,6	3,5	-	71,5	175	85	25	42,9	150
Orhaneli (ara kesme)	5,0	17,5	-	49,3	225	72,5	37,5	28,6	137,5
Orhaneli (orijinal)	5,7	20	-	22,9	150	85	25	14,3	75
Soma	10	40	-	20	110	125	22	9,3	75
Tufanbeyli	22,2	150	0,1	20,7	450	265	75	37,2	3750
Tunçbilek	5,7	20	-	11,4	75	137,5	6	38,6	43,8
Zonguldak	2,9	12,5	-	5,7	115	137,5	17,5	52,9	140

Elbistan linyitinin mineral madde miktarının %60'lık kısmının suda ve asitlerde çözünebildiği saptanmıştır. Elbistan linyitinin liç deney sıvılarının analizinde Mg (57,2 ppm) ve Ca (375 ppm) elementinin büyük çoğunluğunun amonyum asetat çözeltisi ile Fe (112,5 ppm) ve Al (60 ppm) elementinin ise HCl asit çözeltisi ile serbest kaldığı görülmüştür. Özütleme (liç) işleminden sonra, oksidasyon artığının oranı %10 olarak bulunmuştur. Ural ve Akyıldız (2004) yaptığı çalışmada Elbistan linyit numunelerinin özütleme (liç) yönteminden sonra ağırlık kaybını %18-62 ve özütleme sonrası düşük sıcaklık oranını da %23,80 olduğunu bulmuştur. Ural ve Yüksel (2004) yaptığı çalışmada ise Elbistan linyitinin %32,25'lik kısmının suda ve asitlerde çözüldüğünü belirlemiştir. Liç deneyindeki saf su pH değeri ise bazik özelliği taşımaktadır.

Ermenek linyitinin mineral madde miktarının %38'lik kısmının suda ve asitlerde çözünebildiği saptanmıştır. Ermenek linyitinin liç deney sıvılarının analizinde Mg (71,5 ppm) ve Ca (175 ppm) elementinin büyük çoğunluğunun amonyum asetat çözeltisi ile Fe (85 ppm) ve Al (25 ppm) elementinin ise HCl asit çözeltisi ile serbest kaldığı görülmüştür. Özütleme (liç) işleminden sonra, düşük sıcaklık oranı %4 olarak bulunmuştur. Liç deneyindeki saf su pH değeri ise bazik özelliği taşımaktadır.

Orhaneli linyitinin mineral madde miktarının, ara kesmede %49 ve orijinalde %38'lik kısmının suda ve asitlerde çözünebildiği saptanmıştır. Orhaneli linyitinin liç deney sıvılarının analizinde, ara kesmede Mg (49,3 ppm), Ca (225 ppm) ve orijinalde Mg (22,9 ppm), Ca (150 ppm) elementinin amonyum asetat çözeltisi ile ara kesmede Fe (72,5 ppm), Al (37,5 ppm) ve orijinalde Fe (85 ppm), Al (25 ppm) elementinin ise HCl asit çözeltisi ile serbest kaldığı görülmüştür. Özütleme (liç) işleminden sonra oksidasyon artığının oranı, ara kesmede %6 ve orijinalde %12 olarak bulunmuştur. Liç deneyindeki saf su pH değeri ise bazik özelliği taşımaktadır.

Soma linyitinin mineral madde miktarının %32,5'luk kısmının suda ve asitlerde çözünebildiği saptanmıştır. Soma linyitinin liç deney sıvılarının analizinde Mg (20 ppm) ve Ca (110 ppm) elementinin büyük çoğunluğunun amonyum asetat çözeltisi ile Fe (125 ppm) ve Al (22 ppm) elementinin ise HCl asit çözeltisi ile serbest kaldığı görülmüştür. Özütleme (liç) işleminden sonra oksidasyon artığının

oranı %23 olarak belirlenmiştir. Liç deneyindeki saf su pH değeri ise bazik özelliği taşımaktadır.

Tufanbeyli linyitinin mineral madde miktarının %84'lük kısmının suda ve asitlerde çözünebildiği saptanmıştır. Ural ve ark. (2004) yaptığı özütleme (liç) deneyinde Tufanbeyli linyit numunelerinin (T1 –T6) %30-50'lik kısmının suda ve asitlerde çözüldüğünü belirlemiştir. Tufanbeyli linyitinin liç deney sıvılarının analizinde Mg (37,2 ppm) ve Ca (3750 ppm) elementinin büyük çoğunluğunun HCl asit çözeltisi ile serbest kaldığı görülmüştür. Özütleme (liç) işleminden sonra oksidasyon artığının oranı %44 olarak belirlenmiştir. Liç deneyindeki saf su pH değeri ise bazik özelliği taşımaktadır.

Tunçbilek linyitinin mineral madde miktarının %16'lık kısmının suda ve asitlerde çözünebildiği saptanmıştır. Tunçbilek linyitinin liç deney sıvılarının analizinde Mg (38,6 ppm) elementinin büyük çoğunluğunun HCl asit çözeltisi ile Ca (75 ppm) elementinin ise amonyum asetat çözeltisi ile serbest kaldığı görülmüştür. Özütleme (liç) işleminden sonra oksidasyon artığının oranı %14 bulunmuştur. Liç deneyindeki saf su pH değeri ise bazik özelliği taşımaktadır.

Zonguldak taşkömürünün mineral madde miktarının %6'lık kısmının suda ve asitlerde çözünebildiği saptanmıştır. Zonguldak taşkömürünün liç deney sıvılarının analizinde Mg (52,9 ppm) ve Ca (140 ppm) elementinin büyük çoğunluğunun HCl asit çözeltisi ile serbest kaldığı görülmüştür. Özütleme (liç) işleminden sonra oksidasyon artığının oranı %12 bulunmuştur. Liç deneyindeki saf su pH değeri ise sadece 1.saf su banyosundaki sıvıda asit özelliği taşımaktadır.

Kömür numunelerinin özütleme (liç) deneyi saf su sıvılarının pH değerleri, pH metre ile ölçülmüştür ve sonuçları Çizelge 4.5'de verilmektedir. Özütleme deneyinden sonra, geriye kalan numunelerden Avustralya standartlarına uygun olarak oksidasyon artığı miktarını belirlemek için, 370°C'de Düşük Sıcaklık Külü (DSK) elde edilmiştir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Kömürlerin düşük sıcaklık külü miktarları ve saf su pH değerleri

	Düşük Sıcaklık Külü (DSK) (%)	1. Saf Su pH	2. Saf Su pH
Çayırhan	30,70	6,49	6,30
Elbistan	10,65	5,41	5,76
Ermenek	3,65	6,24	6,15
Orhaneli (ara kesme)	5,86	6,48	6,05
Orhaneli (orijinal)	12,25	5,54	5,83
Soma	23,74	4,69	5,33
Tufanbeyli	43,85	6,22	6,48
Tunçbilek	14,30	6,62	6,68
Zonguldak	11,60	7,04	6,70

4.3.2. Toplam Mineral Madde Miktarı

Mineral madde miktarını belirlemede kullanılan yaklaşımlardan biri, bir kömür örneğindeki inorganik maddelerin miktarı ve kömür külünün kombinasyonundan mineral madde miktarını hesaplamaktır. Bu nedenle, bir kömür numunesinin mineral madde miktarını belirlemek için türetilmiş formüller bulunmaktadır. Bunlardan biri numunenin yüksek sıcaklık külü oranından yararlanılan Parr (1928) formülü'dür. Bu formüle göre kömür numunelerinin mineral madde miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca kömür örneklerinin, kızdırma kaybına göre inorganik ve organik madde miktarları da belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Çayırhan linyitinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanmış olan havada kuru bazda (hkb) mineral madde miktarı %31 olarak saptanmıştır. Yaman (1992) yaptığı mineral madde tayininde, kuru bazda mineral madde içeriğini %41,90 olarak belirlemiştir. Karayiğit (2000) yaptığı yarı kantitatif X-ışını difraksiyon (XRD) analizinde ise mineral madde miktarını %44,80 olarak bulmuştur. Bu linyitin kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarı %35 ve organik madde miktarı ise %65 olarak belirlenmiştir.

Elbistan linyitinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanmış olan havada kuru bazda (hkb) mineral madde miktarı %19 olarak saptanmıştır. Yaman (1992) yaptığı mineral madde tayininde, kuru bazda mineral madde içeriğini %30 olarak

Çizelge 4.6. Kömür örneklerinin mineral madde, inorganik ve organik madde miktarları (hkb)

	Mineral Madde Miktarı (%)[*] Parr (1928)	Inorganik Madde Miktarı (%)^{**} Karayiğit (2005)	Organik Madde Miktarı (%)^{**} Karayiğit (2005)
Çayırhan	30,87	34,85	65,15
Elbistan	19,04	18,77	81,23
Ermenek	8,09	7,95	92,05
Orhaneli (ara kesme)	10,61	9,92	90,08
Orhaneli (orijinal)	15,27	9,24	90,76
Soma	28,05	33,62	66,38
Tufanbeyli	46,64	54,03	45,97
Tunçbilek	11,18	13,02	86,98
Zonguldak	17,35	14,40	85,60

* ; Kömür örneklerinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanmış olan mineral madde miktarları.

** ; Kömür örneklerinin Karayiğit (2005) tarafından önerilen, kızdırma kaybına göre inorganik ve organik madde miktarları (750°C / 4 saat'te kül).

belirlemiştir. Karayiğit (2000) yaptığı yarı kantitatif X-ışını difraksiyon (XRD) analizinde ise mineral madde miktarını %37,5 olarak belirlemiştir. Bu linyitin kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarı %19 ve organik madde miktarı ise %81 olarak belirlenmiştir.

Ermenek linyitinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanmış olan havada kuru bazda (hkb) mineral madde miktarı %8 olarak saptanmıştır. Bu linyitin kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarı %8 ve organik madde miktarı ise %92 olarak belirlenmiştir.

Orhaneli linyitinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanmış olan havada kuru bazda (hkb) mineral madde miktarı ara kesmede %11 ve orijinalde %15 olarak saptanmıştır. Yaman (1992) yaptığı mineral madde tayininde, kuru bazda mineral madde içeriğini %13,67 olarak belirlemiştir. Karayiğit (2000) yaptığı yarı kantitatif X-ışını difraksiyon (XRD) analizinde ise mineral madde miktarını %38,3 olarak belirlemiştir. Bu linyitin kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarı ara kesmede %10 ve orijinalde %9; organik madde miktarı ise ara kesmede %80 ve orijinalde %91 olarak belirlenmiştir.

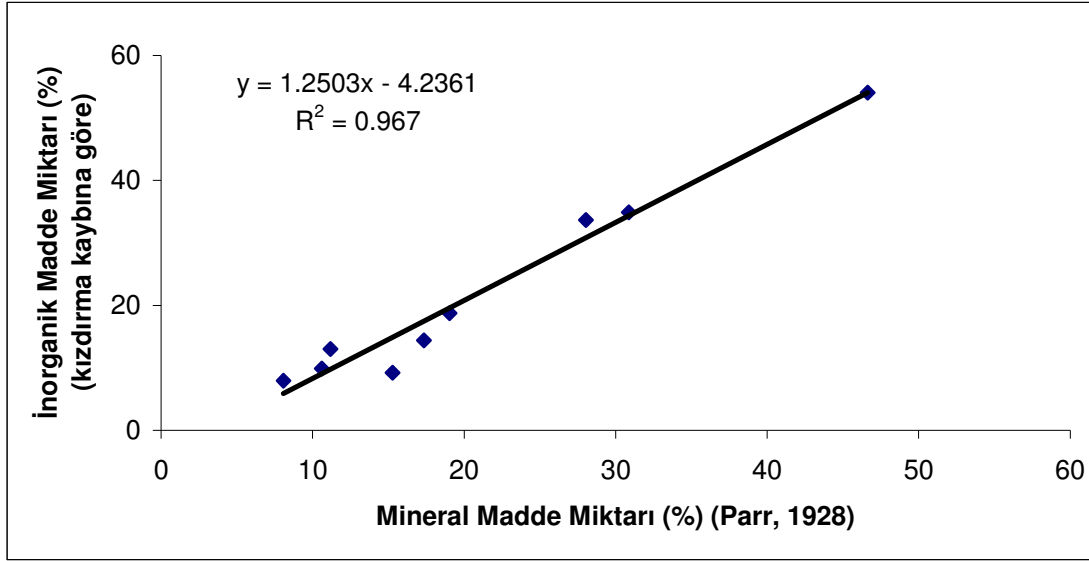
Soma linyitinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanmış olan havada kuru bazda (hkb) mineral madde miktarı %28 olarak saptanmıştır. Yaman (1992) yaptığı mineral madde tayininde, kuru bazda mineral madde içeriğini %28 olarak belirlemiştir. Karayiğit (2000) ise yaptığı yarı kantitatif X-ışını difraksiyon (XRD) analizinde mineral madde miktarını %25 – 60 arasında bulmuştur. Bu linyitin 750°C sıcaklıktaki inorganik madde miktarı %34 ve organik madde miktarı ise %66 olarak bulunmuştur. Karayiğit (2005) yaptığı 750°C sıcaklıktaki kızdırma kaybında inorganik madde miktarını %46,6 olarak belirlemiştir.

Tufanbeyli linyitinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanmış olan havada kuru bazda (hkb) mineral madde miktarı %47 olarak saptanmıştır. Ural ve ark. (2004) yaptığı yüksek sıcaklık külü tayininde linyit numunelerinin yüksek sıcaklık kül miktarlarını %36-57 arasında belirlemiştir. Bu linyitin 750°C sıcaklıktaki inorganik madde miktarı %54 ve organik madde miktarı ise %46 olarak belirlenmiştir.

Tunçbilek linyitinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanmış olan havada kuru bazda mineral madde miktarı %11 olarak saptanmıştır. Yaman (1992) yaptığı mineral madde tayininde, kuru bazda (hkb) mineral madde içeriğini %48 olarak belirlemiştir. Karayiğit (2000) yaptığı yarı kantitatif X-ışını difraksiyon (XRD) analizinde ise mineral madde miktarını A3 ünitesinde %21 ve B4-5 ünitesinde %43 olarak belirlemiştir.. Bu linyitin 750°C sıcaklıktaki inorganik madde miktarı %13 ve organik madde miktarı ise %87 olarak belirlenmiştir.

Zonguldak taşkömürünün Parr (1928) formülüne göre hesaplanmış olan havada kuru bazda (hkb) mineral madde miktarı %17 olarak saptanmıştır.. Bu linyitin 750°C sıcaklıktaki inorganik madde miktarı %14 ve organik madde miktarı ise %86 olarak belirlenmiştir.

Kömür numunelerinin Parr (1928) formülüne göre saptanmış olan mineral madde miktarları ile kızdırma kaybına göre gerçekleştirilmiş olan inorganik madde miktarları arasındaki ilişki araştırılmıştır. Örneklerin, havada kuru bazda (hkb) hesaplanmış olan mineral madde miktarları ile kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarları arasındaki ilişki Şekil 4.1’de görülmektedir.



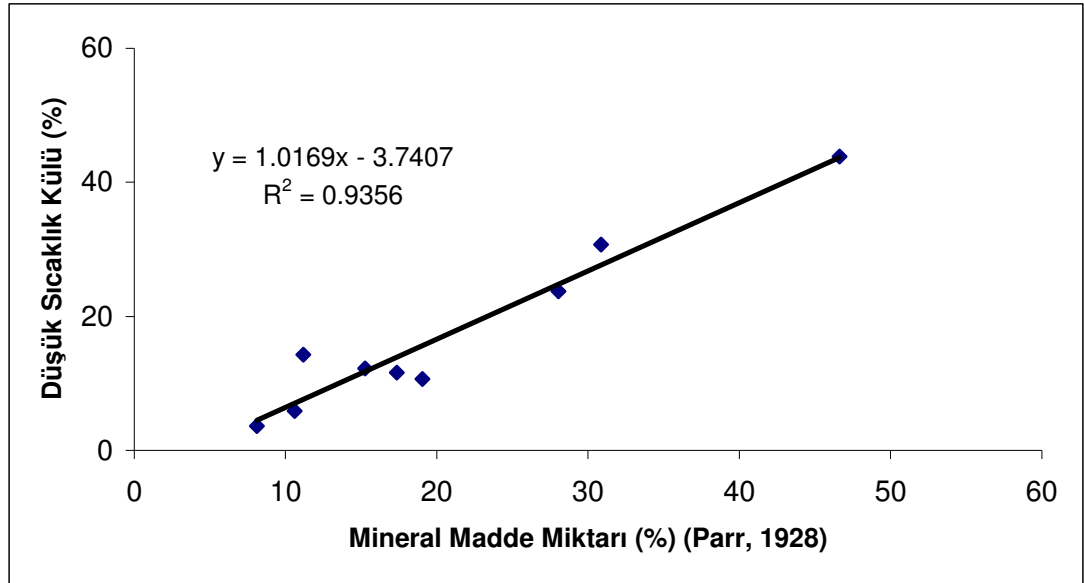
Şekil 4.1. Kömür örneklerinin Parr (1928) formülüne göre belirlenen mineral madde miktarları ile kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarları arasındaki ilişki.

Buna göre; kömür numunelerinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanan mineral madde miktarları ile kızdırma kaybına göre belirlenen inorganik madde miktarları arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmüştür ve ilişki katsayısı 0,97 bulunmuştur. Yani, kömür örneklerinin mineral madde miktarları arttıkça, inorganik madde miktarlarının da artmaktadır.

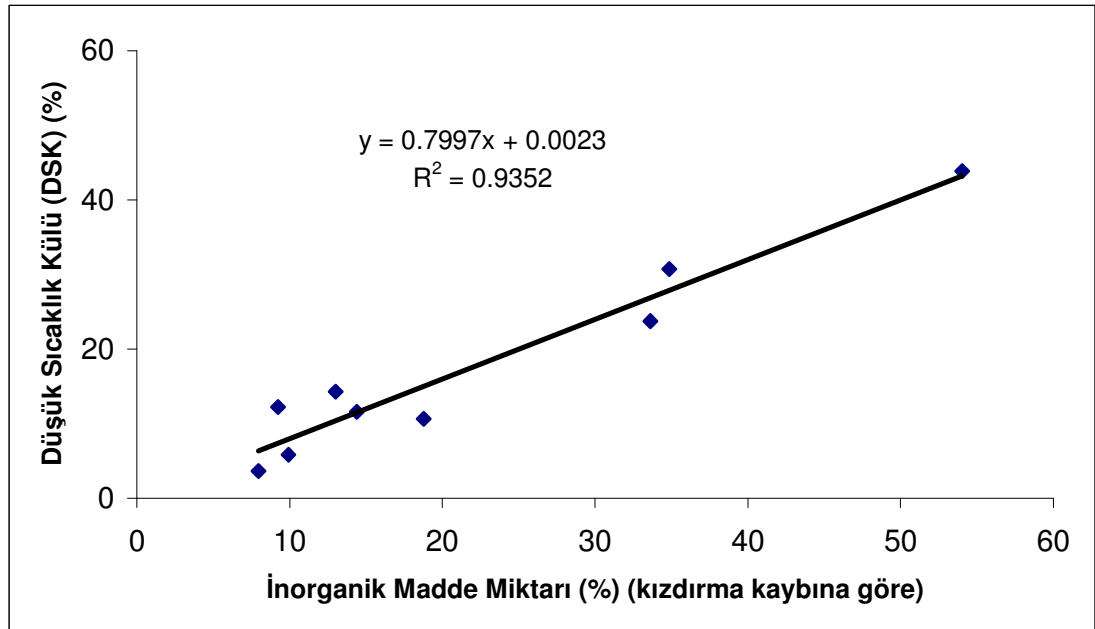
Kömür örneklerinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanmış olan mineral madde miktarları ile özütlemenden sonra geriye kalan malzemelerden AS 1038.22 (2000) standardına uygun olarak belirlenmiş olan 370°C’de Düşük Sıcaklık Külü (DSK) miktarları arasındaki ilişki incelenmiş ve Şekil 4.2.’de gösterilmektedir. Buna göre kömür örneklerinin mineral madde miktarları ile düşük sıcaklık külü miktarları arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmüştür ve ilişki katsayısı 0,94 bulunmuştur. Yani, kömür örneklerinin mineral madde miktarı arttıkça, düşük sıcaklık külü miktarları da artmaktadır.

Kömür örneklerinin özütleme işleminden sonra geriye kalan malzemelerden AS 1038.22 (2000) standardına uygun olarak belirlenmiş olan 370°C’de Düşük Sıcaklık Külü (DSK) miktarları ile kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarları arasındaki ilişki Şekil 4.3’de görülmektedir. Kömür örneklerinin kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarları ile düşük sıcaklık külü miktarları arasında doğrusala yakın bir ilişkinin olduğu görülmüştür ve ilişki katsayısı 0,93 bulunmuştur.

Buna göre kömür örneklerinin inorganik madde miktarı arttıkça, düşük sıcaklık külü miktarının arttığı söylenebilir.



Şekil 4.2. Kömür örneklerinin Parr (1928) formülüne göre belirlenen mineral madde miktarları ile 370°C'de düşük sıcaklık külü (DSK) miktarları arasındaki ilişki.



Şekil 4.3. Kömür örneklerinin kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarları ile düşük sıcaklık külü miktarları arasındaki ilişki.

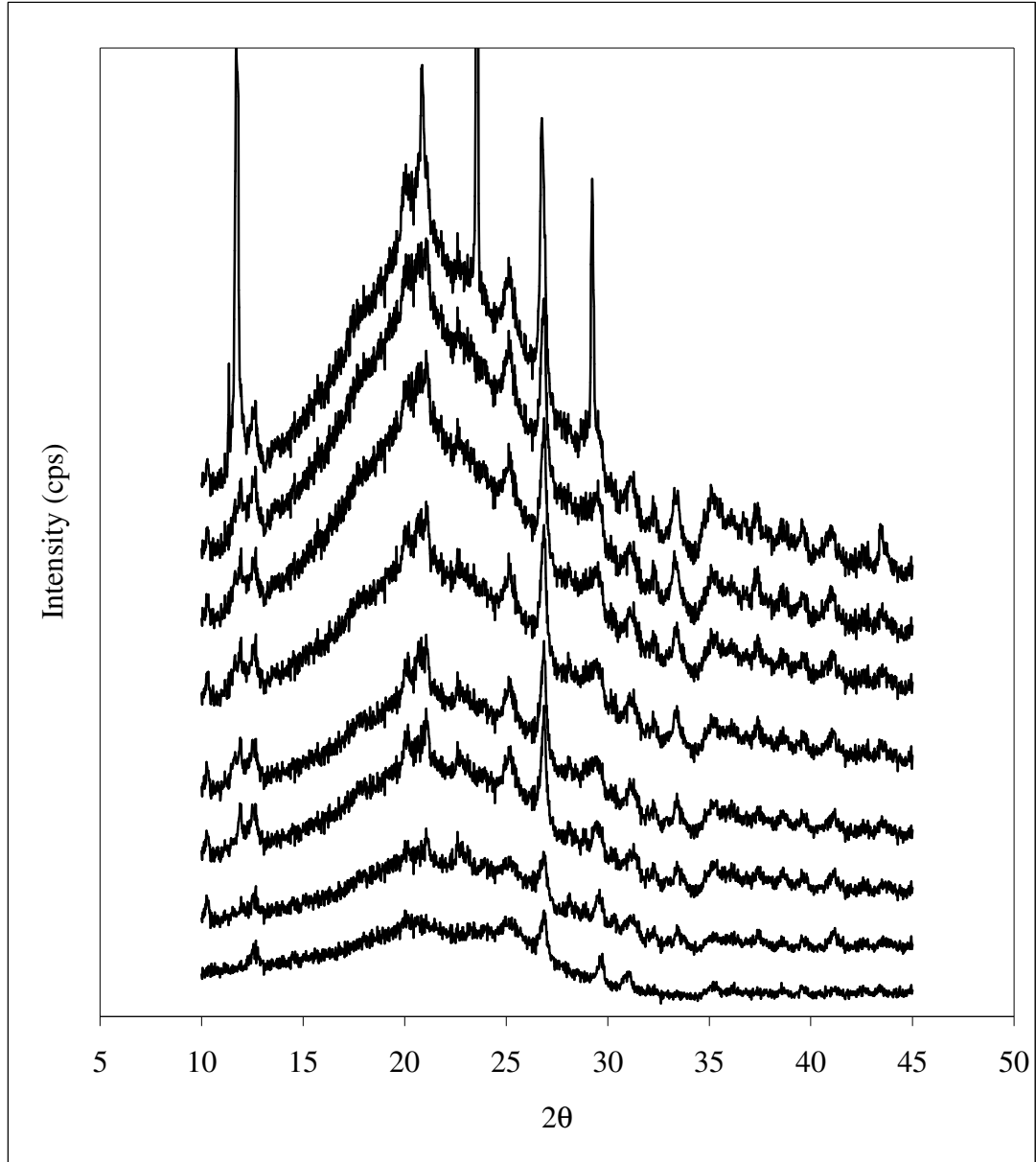
4.4. Kömürlerin Mineralojik Özellikleri

Orijinal kömür örneklerinin mineralojik analizi, X-ışını difraksiyon (XRD) yöntemi ile Anadolu Üniversitesi, Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilmiştir. Kömür örneklerinin X-ışını difraksiyon (XRD) mineralojik analiz sonuçları Çizelge 4.7'de ve XRD patternleri Şekil 4.4'te görülmektedir. X-ışını difraksiyon (XRD) analizine göre kömür numunelerinde başlıca kuvars, kristobalit, illit, kaolinit, montmorillonit, halloysit, analsit, klorit, klinoptilolit, muskovit, K α feldispat, albit, pirit, kalsit, dolomit, aragonit, siderit, jips, hematit ve götit minerallerine rastlanılmıştır.

Çizelge 4.7. Kömür örneklerinin X-ışını difraksiyon (XRD) analizinde belirlenen kristal formdaki mineral fazları.

Numune Adı	X-ışını difraksiyon analizinde belirlenen mineraller
Çayırhan	Kuvars, kristobalit, analsit, clinoptilolite, muskovit, albit, pirit, kalsit dolomit, jips ve hematit
Elbistan	Kuvars, illit, kaolinit, Kafeldispat, pirit ve jips
Ermenek	Kuvars, illit, kaolinit, montmorillonit, pirit, kalsit, aragonit, jips ve götit
Orhaneli	Kuvars, illit, kaolinit, pirit, kalsit, aragonit, siderit ve jips
Soma	Kuvars, kristobalit, kaolinit, montmorillonit, hallosit, klorit, albit, pirit, kalsit ve jips
Tufanbeyli	Kuvars, kalsit ve jips
Tunçbilek	Kuvars, illit, kaolinit, klorit, albit, pirit, kalsit, siderit ve jips
Zonguldak	Kuvars, illit, kaolinit, pirit, kalsit, dolomit ve hematit

Kuvars mineraline bütün kömür örneklerinde rastlanılmıştır. Soma linyitinde halloysit; Çayırhan linyitinde analsit, klinoptilolit ve muskovit; Elbistan linyitinde Kafeldispat ve Ermenek linyitinde götit mineralleri bulunmuştur. Pirit minerali Tufanbeyli linyitinde; kalsit minerali Elbistan linyitinde ve jips minerali de Zonguldak taşkömüründe görülmemiştir. Yaman (1992) yaptığı X-ışını difraksiyon (XRD) analizinde Çayırhan kül numunelerinde kuvars, hematit, anhidrid, anortit, feldispat, gehlenit ve metakaolinit minerallerini belirlemiştir. Ural ve Yüksel (2004) yaptığı çalışmada ise Elbistan numunelerinde illit, klorit ve kalsit minerallerini belirlemiştir.



Şekil 4.4 Kömür numunelerinin XRD patternleri

Yaman (1992) yaptığı Soma kül numunelerinin X-ışını difraksiyon (XRD) analizinde kuvars, hematit, anhidrid, anortit, feldispat, müllit ve metakaolinit minerallerini belirlemiştir.

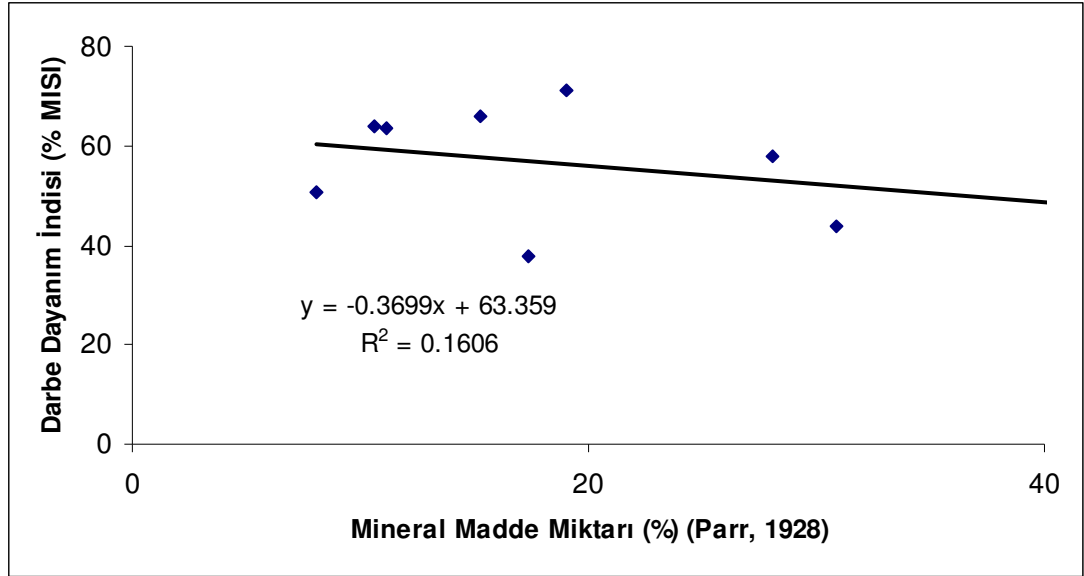
4.5. Düzeltilmiş Darbe Dayanım İndisi

Kömür örneklerinin darbe dayanım deneyi, Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. Deney 10 kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır (Çizelge 4.8). Kömür örneklerinin darbe dayanım indisleri %37 – 71 arasında değişmektedir. Görüldüğü gibi Elbistan linyitinin darbe dayanım indisi (%71) diğer kömür örneklerine göre oldukça yüksektir.

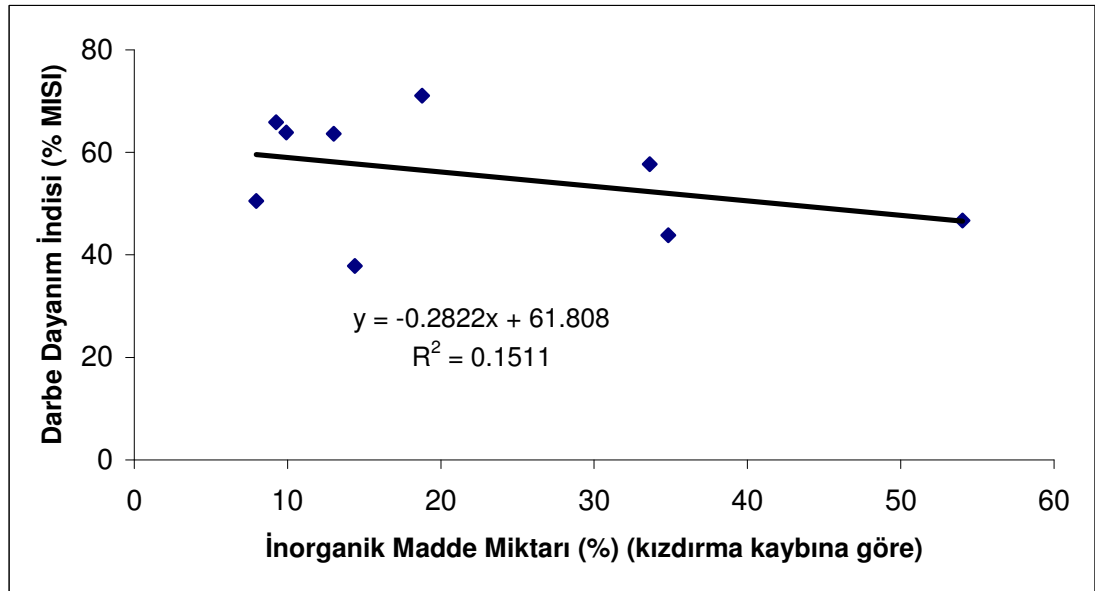
Çizelge 4.8. Kömür örneklerinin darbe dayanım deney sonuçları

	m_{ort} (gr)	MISI (%)
Çayırhan	5,74	43,80
Elbistan	9,32	71,08
Ermenek	6,62	50,47
Orhaneli (ara kesme)	8,38	63,89
Orhaneli (orijinal)	8,64	65,90
Soma	7,56	57,69
Tufanbeyli	6,12	46,70
Tunçbilek	8,34	63,65
Zonguldak	4,96	37,83

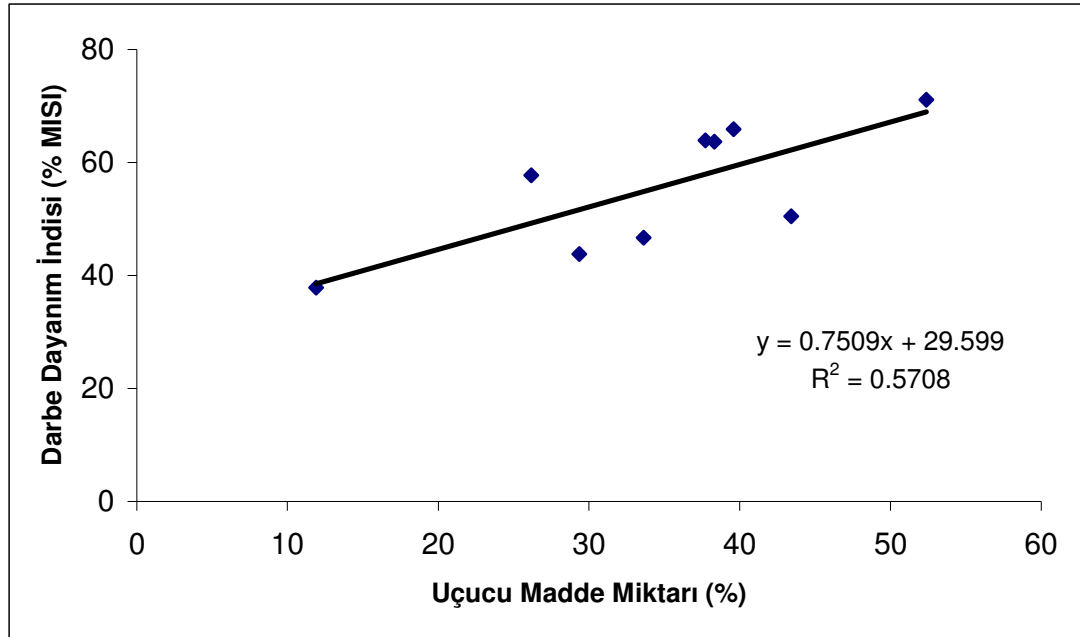
Kömür örneklerinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanmış olan mineral madde miktarları ile darbe dayanım indisleri arasındaki ilişki Şekil 4.5 'de görülmektedir. Buna göre kömür örneklerinin mineral madde miktarları ile darbe dayanım indisleri arasında azalan bir ilişkiye rastlanılmıştır. Kömür örneklerinin darbe dayanım indisleri ile kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarları arasındaki ilişki ise Şekil 4.5'de görülmektedir. Buna göre kömür örneklerinin kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarları ile darbe dayanım indisleri arasında azalan bir ilişkiye rastlanılmıştır. Kömür örneklerinin suda ve asitlerde çözünebilen mineral madde miktarları ile darbe dayanım indisleri arasındaki ilişki de araştırılmış olup, bir sonuç elde edilememiştir. Kömür örneklerinin darbe dayanım indisleri ile kimyasal analizleri arasındaki ilişkiler araştırılmış ve uçucu madde miktarları arasında doğrusala yakın ilişkiler olduğu görülmüştür (Şekil 4. 7). İlişkilerde kömür örneklerinin sadece uçucu madde miktarları kullanılmıştır. Buna göre, kömür örneklerinin uçucu madde miktarı yükseldikçe, dayanımı da yükseldiği görülmüştür.



Şekil 4.5. Kömür örneklerinin Parr (1928) formülüne göre belirlenen mineral madde miktarları ile darbe dayanım indisleri arasındaki ilişki (hkb).



Şekil 4.6. Kömür örneklerinin kızdırma kaybına göre belirlenen inorganik madde miktarları ile darbe dayanım indisleri arasındaki ilişki (hkb).



Şekil 4.7. Kömür örneklerinin darbe dayanım indisleri ile uçucu madde miktarları arasındaki ilişki.

4.6. Kömürde Kükürt Analizleri

Kömür örneklerinin kükürt analizleri, bölümümüz kimya laboratuvarında TS standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Kömür içerisinde sorun yaratan kirlilikler içerisinde, esas olarak külü oluşturan mineraller ve kükürt bulunmaktadır. Bazı mineral safsızlıklar kömürün yapısı içinde dağılmış halde bulunurken, bazıları ise organik yapının bir parçası olarak bulunmaktadır. En fazla kirlilik yaratan kükürt olup, kömür içinde organik, sülfatık ve piritik olmak üzere üç şekilde bulunur. Organik kükürt kömürün bir parçası olup, inorganik kükürt pirit ve markasit mineralleri şeklinde ya da sülfat şeklinde bulunur (Göktepe, 2002).

İnorganik kükürt (sülfatık) seyreltik HCl asitle ekstrakte edilerek, gravimetrik yöntemle; piritik kükürt HCl asitte çözünmediğinden seyreltik nitrik asitle kantitatif olarak çözündürülerek, önce pirit halinde birleşmiş olan demir miktarı saptanmış ve sonra bu demire eşdeğer kükürt hesaplanmıştır. Toplam kükürt miktarı, kömür numuneleri Eschka karışımı ile iyice karıştırıldıktan sonra oksitleyici bir atmosferde yakılarak, gravimetrik yöntem ile belirlenmiştir. Organik kükürt miktarı ise toplam kükürt miktarından, sülfatık ve piritik kükürt miktarının çıkartılması ile bulunmuştur. Kömür örneklerinin kükürt analiz sonuçları Çizelge 4.9'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.9. Kömür örneklerinin kükürt analiz sonuçları

	Toplam Kükürt (%)	Sülfat Kükürt (%)	Piritik Kükürt (%)	Organik Kükürt (%)
Çayırhan	6,8	1,41	4,17	1,22
Elbistan	3,52	0,27	1,58	1,67
Ermenek	1,62	0,34	0,64	0,64
Orhaneli (ara kesme)	2,64	0,58	1,31	0,75
Orhaneli (orijinal)	2,97	0,66	1,39	0,92
Soma	1,73	0,53	1,03	0,17
Tufanbeyli	3,84	2,36	1,42	0,06
Tunçbilek	2,57	0,13	1,46	0,98
Zonguldak	0,57	0,3	0,22	0,05

Buna göre, Çayırhan linyitinin toplam kükürt miktarı (%6,8), diğer kömür örneklerine göre oldukça yüksektir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye'nin sekiz değişik yöresinden toplanan kömür örneklerinin mineral madde miktarları belirlenerek, darbe dayanımları ile mineral madde miktarları ve kompozisyonları arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özet olarak sunulmuştur.

1. Kömür numunelerinin havada kuru bazda (hkb) nem içerikleri %10-26; kül içerikleri %7-41; uçucu madde içerikleri %11 – 52 ve sabit karbon içerikleri %11-62 arasında değişmektedir.
2. Kömür örneklerinin, X-ışını flüoresans spektrometre (XRF) yöntemi ile yapılan kimyasal analizlerde, numunelerde Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , SO_3 , K_2O , CaO ve Fe_2O_3 tespit edilmiştir.
3. Kömür numunelerine uygulanan özütleme (liç) deney sonuçlarına göre, numunelerin mineral madde miktarlarının %5 – 84'lük kısımlarının suda ve HCl asitte çözünbildiği belirlenmiştir. Zonguldak taşkömürünün, diğer kömür numunelerine göre, sadece %5'lik kısmının suda ve HCl asitte çözündüğü görülmüştür.
4. Kömür numunelerinin özütleme (liç) deneyi sıvılarının kimyasal analiz sonuçları, Mg ve Ca elementlerinin amonyum asetat çözeltisi ile serbest kaldığını göstermiştir. Ancak Tufanbeyli, Tunçbilek ve Zonguldak kömür numunelerinde, bu elementlerin HCl asit çözeltisi ile serbest kaldıkları görülmüştür. Tufanbeyli linyitinde amonyum asetat çözeltisi ile 0,1 ppm miktarında Fe elementinin çözeltiye geçtiği belirlenmiştir.
5. Kömür numunelerinin özütleme (liç) işleminden sonra düşük sıcaklık külü oranları %3 – 43 arasında bulunmuştur.
6. Kömür numunelerinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanmış olan mineral madde miktarları %8 – 47 arasında değişmiştir. İnorganik madde miktarları ise %7 – 54 arasında belirlenmiştir.
7. Kömür numunelerinin düzeltilmiş darbe dayanım indisleri %37 – 71 arasında değişmiştir. Elbistan linyitinin darbe dayanım indisi (%71) diğer kömür örneklerine göre oldukça yüksektir.

8. Kömür numunelerinin kükürt analiz sonuçlarına göre; numunelerin toplam kükürt içeriği %0,5 – 6,8, sülfat içeriği %0,13 – 2,36 ve piritik kükürt içeriği %0,22 – 4,17 arasında değiştiği belirlenmiştir.
9. X-ışını difraksiyon (XRD) analizine göre kömür numunelerinde başlıca kuvars, kristobalit, illit, kaolinit, montmorillonit, halloysit, analsit, klorit, klinoptilolit, mürskovit, K α feldispat, albit, pirit, kalsit, dolomit, aragonit, siderit, jips, hematit ve götit minerallerine rastlanılmıştır.
10. Kömür numunelerinin Parr (1928) formülüne göre hesaplanan mineral madde miktarları ile kızdırma kaybına göre belirlenen inorganik madde miktarları arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmüştür ve ilişki katsayısı 0,97 bulunmuştur. Yani, kömür örneklerinin mineral madde miktarları arttıkça, inorganik madde miktarlarının da artmaktadır.
11. Kömür örneklerinin mineral madde miktarları ile düşük sıcaklık külü miktarları arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmüştür ve ilişki katsayısı 0,94 bulunmuştur. Yani, kömür örneklerinin mineral madde miktarı arttıkça, düşük sıcaklık külü miktarları artmaktadır.
12. Kömür örneklerinin kızdırma kaybına göre inorganik madde miktarları ile düşük sıcaklık külü miktarları arasında doğrusala yakın bir ilişkinin olduğu görülmüştür ve ilişki katsayısı 0,93 bulunmuştur. Buna göre kömür örneklerinin inorganik madde miktarı arttıkça düşük sıcaklık külü miktarının arttığı söylenebilir.
13. Kömür örneklerinin darbe dayanım indisleri ile kimyasal analizleri arasındaki ilişkiler araştırılmış ve uçucu madde miktarları arasında doğrusala yakın ilişkiler olduğu görülmüştür. Buna göre, kömür örneklerinin uçucu madde miktarı yükseldikçe, dayanımı da yükselmektedir.

KAYNAKLAR

- AUSTRALIAN Standard 1038, 22., 2000. Coal and Coke - Analysis and Testing, Part 22: Higher Rank Coal - Mineral Matter and Water of Constitution. Standards Australia International Ltd.
- GLUSKOTER, H. J., 1977. Proceedings of the International Conference on Ash Deposits and Corrosion from Impurities in Combustion Gases. 3 - 19, June, New Hampshire.
- GÖKMEN, V., MEMİKOĞLU, O., DAĞLI, M., ÖZ, D., TUNCALI, E., 1993. Türkiye Linyit Envanteri. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara.
- KARAYİĞİT, A.İ., DEMİREL, İ. H., 1998. Quality and Petrographic Characteristics of the Lacustrine Ermenek Coal (Early Miocene), Turkey. Energy Sources, 21: 329 - 338.
- KARAYİĞİT, A. İ., GAYER, R. A., QUEROL, X., ONACAK, T., 2000. Contents of major and trace elements in feed coals from Turkish coal - fired power plants. International Journal of Coal Geology, 44: 169 - 184.
- KARAYİĞİT, A. İ., GAYER, R. A., 2000. Trace elements in a Pliocene – Pleistocene Lignite profile from Afşin - Elbistan field, eastern Turkey. Energy Sources, 22: 13 - 21.
- KARAYİĞİT, A. İ., ONACAK, T., GAYER, R. A., GOLDSMİTH, S., 2001. Mineralogy and geochemistry of feed coals and their combustion residues from the Çayırhan power plant, Ankara, Turkey. Applied Geochemistry, 16: 911 - 919.
- KARAYİĞİT, A. İ., 2001. Mineralogy and Trace Element Contents of the Akalin Seam, Gelik Mine, Zonguldak - Turkey. Energy Sources, 23: 699 - 709.
- KARAYİĞİT, A. İ., ÇELİK, Y., 2003. Mineral Matter and Trace Elements in Miocene Coals of the Tunçbilek - Domaniç Basin, Kütahya, Turkey. Energy Sources, 25: 339 - 355.
- KARAYİĞİT, A. İ., VASSİLEV, S. V., VASSİLEVA, C. G., BULUT, Y., ALASTUEY, A., QUEROL, X., 2005. Phase - mineral and chemical composition of composite samples from feed coals, bottom ashes and fly ashes

- at the Soma power plant, Turkey. International Journal of Coal Geology, 61: 35 - 63.
- LOWRY, H. H., 1963. Chemistry of Coal Utilization. Supplementary Volume, John Wiley and Sons., Inc., New York.
- MACKOWSKY, M. T., 1968. Coal and Coal Bearing Strata. Elsevier, New York.
- MEYERS, R. A., 1982. Coal Structure. Academic Pres., Inc., New York.
- PARR, S. W., 1928. The classification of coal. Univ., Illinois Engineering Experimental Station, Bulletin 180.
- TSE 330, 1966. Maden Kömüründe Kül Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 329, 1966. Maden Kömüründeki Kükürt Bileşiklerinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü , Ankara.
- TSE 438, 1967. Maden Kömüründe Gravimetrik Metot ile Rutubet Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 1042, 1971. Turb ve Linyitlerde Kül Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 363, 1979. Eschka Metodu ile Maden Kömüründe Toplam Kükürt Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE ISO 5071 – 1, 1999. Kahverengi Kömürler ve Linyitler – Analiz Numunesinde Uçucu Madde Tayini – Bölüm 1: İki Fırın Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 711 ISO 562, 2002. Taşkömürü ve Kok – Uçucu Madde Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TÜRKİYE TAŞ KÖMÜRÜ KURUMU, 1990. Taşkömürü, İnsan Gücü Eğitim Şube Müdürlüğü, Zonguldak.
- URAL, S., 1999. Afşin - Elbistan linyitlerinin sınıflandırılarak termik santralin performansı üzerindeki etkilerinin araştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Proje No: FBE. 96.97, Doktora Tezi, Adana, 140 sayfa.
- URAL, S., AKYILDIZ, M., 2004. Studies of the relationship between mineral matter and grinding properties for low – rank coals. International Journal of Coal Geology.

- URAL, S., YÜKSEL, F., 2004. Kömürün Mineral Madde İçeriğinin Belirlenmesi. Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, 5 sayfa.
- VASSİLEV, S.V., KİTANO, K., VASSİLEVA, C. G., 1997. Relations between Ash yield and chemical and mineral composition of coals. Fuel, 76: 3 – 8.
- VORRES, K. S., 1984. Mineral Matter and Ash in Coal. American Chemical Society, Washington.
- YAMAN, S., 1992. Bazı Türk Linyitlerinin İçerikleri. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- WARD, C. R., 1984. Coal Geology and Coal Technology. Blackwell Scientific Publications, Melbourne, 345 pp.
- WARD, C. R., 1986. Review of Mineral Matter in Coal. Australian Coal Geology, 16: 87 – 110.
- WARD, C. R., 1991. Mineral Matter in low – rank coals and associated strata of the Mae Moh basin, northern Thailand. International Journal of Coal Geology, 17: 69 – 93.
- WARD, C. R., 1992. Mineral matter in Triassic and Tertiary low - rank coals from South Australia. International Journal of Coal Geology, 20: 185 - 208.
- WARD, C. R., TAYLOR, J. C., MATULİS, C. E., DALE, L. S., 2001. Quantification of mineral matter in the Argonne Premium Coals using interactive Rietveld - based X - ray diffraction. International Journal of Coal Geology, 46: 67 – 82.
- WARD, C. R., 2002. Analysis and significance of mineral matter in coal seams. International Journal of Coal Geology, 50: 135 – 168.
- WELLS, J. J., WİGLEY, F., FOSTER, D. J., GİBB, W. H., WİLLİAMSON, J., 2004. The relationship between excluded mineral matter and the abrasion of a coal. Fuel, 83: 359 – 364.

ÖZGEÇMİŞ

20.11.1976 yılında Adana ili Seyhan ilçesi'nde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 1997 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. Bu bölümü 2001 yılında tamamladı. 2002 yılının bahar yarıyılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimine başladı.