

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ŞARKIKARAAĞAÇ (ISPARTA) KÖMÜRLÜ BİRİMLERİNİN (PLİYOSEN) 71,
105, 114 NOLU KUYU VERİLERİNE GÖRE İZ ELEMENT DAĞILIMI VE
ÇEVREYE ETKİLERİ**

**Ayşe YILMAZ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

HAZİRAN 2018

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ŞARKIKARAAĞAÇ (ISPARTA) KÖMÜRLÜ BİRİMLERİNİN (PLİYÖSEN)
71,105,114 NOLU KUYU VERİLERİNE GÖRE İZ ELEMENT DAĞILIMI VE
ÇEVREYE ETKİLERİ**

**Ayşe YILMAZ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

HAZİRAN 2018

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞARKİKARAAĞAÇ (ISPARTA) KÖMÜRLÜ BİRİMLERİNİN (PLİYOSEN)
71,105,114 NOLU KUYU VERİLERİNE GÖRE İZ ELEMENT DAĞILIMI VE
ÇEVREYE ETKİLERİ**

**Ayşe YILMAZ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından FYL-2016-1949 nolu proje ile desteklenmiştir.**

HAZİRAN 2018

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞARKİKARAAĞAÇ (ISPARTA) KÖMÜRLÜ BİRİMLERİNİN (PLİYOSEN)
71,105,114 NOLU KUYU VERİLERİNE GÖRE İZ ELEMENT DAĞILIMI VE
ÇEVREYE ETKİLERİ

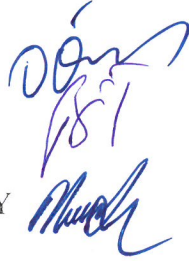
Ayşe YILMAZ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 21.06/2018.. tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK

Prof. Dr. Fuzuli YAĞMURLU

Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY



ÖZET

ŞARKIKARAAĞAÇ (ISPARTA) KÖMÜRLÜ BİRİMLERİNİN 71, 105, 114 NOLU KUYU VERİLERİNE GÖRE İZ ELEMENT DAĞILIMI VE ÇEVREYE ETKİLERİ

Ayşe YILMAZ

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK

Haziran, 2018, 81 Sayfa

Bu çalışma kapsamında Isparta ili, Şarkikaraağaç (Isparta) ilçesi kömürlü birimlerinin '71,105,114'no'lu kuyu verilerine göre iz element dağılımı ve çevreye etkileri incelenmiştir.

Kömürlü birimlerde yapılan XRD analizinde, elde edilen sonuçlar doğrultusunda, kömür örneklerinde yarı nicel bolluklarına göre; kalsit, aragonit, kuvars, pirit, dolomit, kil mineralleri, feldispat grubu mineraller (K-feldispat, K-Na-feldispat), kristobalit, ankerit, mika grubu mineraller (biyotit, muskovit), markazit, hematit, jips, talk, siderit, arsenopirit ve anhidrit olduğu tespit edilmiştir. Bu alanda tespit edilen kömür örneklerinin kil mineralleri ise; smektit, illit, kaolinit (halloysit, kaolinit), klorit, paligorskit, karışık tabakalı kil mineralleri olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca kil minerallerinin yanı sıra paligorskit, kaolinit - smektit, klorit - smektit ve illit – smektit, sepiyolit mineralleride gözlenmiştir. En bol gözlenen kil mineralleri illit, smektit ve kaolinit olarak tespit edilmiştir. Bölgedeki kayaç örneklerinde benzer içerikte mineral kompozisyona sahip olduğu tespit edilmiştir.

ICP- MS analizi sonucunda, havzadaki kömürlerde bulunan majör elementlerden; Si, Al, Fe, Mg, Ca, K, Ti, P, Cr'un dünya kömürlerinin üzerinde sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca Sc, V, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, Er, Yb, Hf, W, U gibi iz elementlerin kömür içerisindeki bulunma değerleri dünya kömürlerindeki standart sınır değerlerinden daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Swaine ve Goodarzi'nin 1995 yılında yaptığı gruplandırmaya göre, çevreye ve insan sağlığına zararlı olan iz elementlerden; As, Cu, Mo, Ni, Th, U, V, Zn ve Co değerinin, çevrede ve insan vücudunda bulunma sınır değerinden daha yüksek sonuçlarda olduğu gözlenmiştir.

Kömürün yanması sonucunda oluşan kömür külünün kimyasal yapısında bulunan iz elementlerden artış gösterenler: Sc, V, Co, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Pb, Th ve U olarak belirlenmiştir. Bu iz elementler arasından toksik etkiye sahip olanlar; As, Ba, Co, Cu, Mo, Pb, Sb, Th, V, U ve Zn olarak gruplandırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: ICP- MS analizi, İnorganik Jeokimya, İz element, Kömür, Kül, XRD analizleri

JÜRİ: Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK

Prof. Dr. Fuzuli YAĞMURLU

Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY



ABSTRACT

DISTRIBUTION OF TRACE ELEMENTS AND ITS EFFECTS TO THE ENVIRONMENT ACCORDING TO THE WELL DATAS NUMBERS 71, 105, 114 OF SARKIKARAGAC COAL UNITS

Ayşe YILMAZ

MSc Thesis in Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Orhan OZCELIK

June 2018; 81 pages

In this study, trace element distribution and environmental effects of coal mining units of Isparta province, Şarkikaraağaç (Isparta) province were investigated according to well data of '71,105,114'.

In the XRD analyzes made by the coal units, according to the semi-quantitative abundances in coal samples; it is detected that there are calcite, aragonite, quartz, pyrite, dolomite, clay minerals, feldspar group minerals (K-feldspar, K-Na feldspar), cristobalite ankerite, mica group minerals (biotite, muscovite), marcasite, hematite, gypsum, talc, siderite. What the clay minerals of the coal samples detected in this area are; smectite, illite, kaolinite (halloysite, kaolinite), chlorite, paligorskite, mixed layered clay minerals. The most abundant clay minerals were illite, smectite and kaolinite. It has been detected that rock samples of the region have similar mineral composition.

As a result of ICP- MS analyzes, Major elements found in coal in the basin; Si, Al, Fe, Mg, Ca, K, Ti, P, Cr elements give results over the world coals average. The presence of trace elements such as Sc, V, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, Er, Yb, Hf, W, U in coal have yielded higher results than standard limits in world coal.

According to the groupings of Swaine and Goodarzi made in 1995, it is observed that the values of the trace elements that are harmful to the environment and human health are; As, Cu, Mo, Ni, Th, U, V, Zn and Co higher than those in the environment and human body.

Increases in the trace elements found in the chemical structure of the ash resulting from combustion of the engine are determined as Sc, V, Co, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Pb, Th ve U... Among these trace elements, those having toxic effect are grouped as; As, Ba, Co, Cu, Mo, Pb, Sb, Th, V, U and Zn.

KEYWORDS: ICP-MS analysis, Inorganic Geochemistry, Trace element, Coal, Ash, XRD analysis

COMMITTEE: Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK

Prof. Dr. Fuzuli YAĞMURLU

Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY



ÖNSÖZ

Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı kapsamında hazırlanan bu çalışma, Isparta ili Şarkikaraağaç ilçesinde bulunan kömür, bu kömürlerin külleri ve kayaç örneklerinin jeokimyasal analizlerine tabi tutularak, bölgedeki kömürlü birimlerin iz element tayinini yapmayı, bu elementlerden çevreye duyarlı olanların, kömür içerisindeki değerlerinin Dünya kömürleri ile karşılaştırılmasını ve çevreye olan etkisini araştırmayı amaçlamıştır.

Bu tezin hazırlanması başta olmak üzere çalışmamın başından sonuna kadar her aşamasında, mesleki gelişmeme, bilgisi, tecrübesi ve yorumları ile katkı sağlayan, beni yönlendiren, değerli danışman hocam Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK'e, teşekkür ederim. Yüksek lisans tez çalışmamda, bilgi birikimleri ile çalışma süresince bana yol gösteren hocam Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY'a teşekkür ederim.

Çalışmalarımın başından itibaren; hazırlık, analizler, deneylerim sırasında her türlü yardımlarını esirgemeyen, bana her alanda destek olan, bu aşamalarda tüm bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Jeoloji Yüksek Mühendisi Neslihan ÜNAL, Dr. Selin KARADİREK hocalarıma teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca, maddi ve manevi her konuda benden desteğini esirgemeyen, daima olumlu yaklaşımlarıyla beni yönlendiren aileme ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER	vi
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. İnceleme Alanının Konumu ve Morfolojisi	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Kömür Kavramı ve Oluşumu	4
2.2. Kömürlerin Sınıflandırılması	7
2.3. Kömürlerde Mineral Madde	8
2.4. Kömürde Majör (Ana)-İz Element Oluşumu	12
2.5. Önceki Çalışmalar	12
3. MATERYAL VE METOT	18
3.1. Arazi Çalışmaları.....	18
3.2. Laboratuvar Çalışmaları	19
3.2.1. Jeokimyasal yöntemler	19
3.2.1.1. XRD tüm kaya ve kil analizi	19
3.2.1.2. Majör - iz element analizi	19
3.2.1.3. Kül tayini analizi	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	21
4.1. Bölgenin Jeolojik Evrimi.....	21
4.2. Stratigrafi.....	22
4.2.1. Otokton birimler	24
4.2.1.1. Çaltepe formasyonu	24

4.2.1.2. Sultandede formasyonu	24
4.2.1.3. Fele formasyonu.....	25
4.2.1.4. Hacılabaz formasyonu	26
4.2.1.5. Bağkonak formasyonu	26
4.2.1.6. Anamasdağ formasyonu.....	27
4.2.1.7. Gölge formasyonu.....	28
4.2.1.8. Göksöğüt formasyonu	28
4.2.1.9. Alüvyon ve yamaç molozu	31
4.2.2. Allohton birimler	31
4.2.2.1. Kızıldağ ofiyolitleri.....	31
4.2.2.2. Eğirler formasyonu.....	31
4.2.2.3. Deliktaş formasyonu	32
4.3. Yapısal Jeoloji	32
4.3.1. Uyumsuzluklar.....	32
4.3.2. Faylar ve eklemler	32
4.3.3. Kıvrımlar.....	34
4.4. Kömürlerin ve Kayaçların İnorganik Jeokimyasal Özellikler.....	34
4.4.1. Kömürlerin ve kayaçların mineralojisi (XRD incelemeleri)	34
4.4.2. Majör-iz element jeokimyası	39
4.4.2.1. Kömürlü birimlerde bulunan iz elementlerin çevresel etkileri	46
4.4.2.2. Kömürlü birimlerde bulunan hava kirletici elementler	57
4.4.2.3. Kayaç Örneklerinin Majör-İz Element Sonuçları	58
4.4.2.4. Kömür külünün majör-iz element sonuçları	61
5. SONUÇLAR	70
6. KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	81

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Şarkikaraağaç (Isparta) Kömürlü Birimlerinin (Pliyosen) ‘71,105,114 No’lu Kuyu Verilerine Göre İz Element Dağılımı ve Çevreye Etkileri” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

21/06/2018

Ayşe Yılmaz



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
B	: Bor
Ba	: Baryum
Be	: Berilyum
Br	: Brom
°C	: Derece santigrat
C	: Karbon
CaCO ₃	: Kalsiyum karbonat
Cd	: Kadmiyum
CH ₃	: Metoksil
CH ₄	: Metan
Cl	: Klor
Cm	: Santimetre
CO ₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cs	: Sezyum
CS ₂	: Karbon sülfür
Co	: Kobalt
Cu	: Bakır
Dy	: Disprozyum
Er	: Erbiyum
Fe	: Demir
g	: Gram

Ga	: Galyum
Ge	: Jermanyum
H	: Hidrojen
Hg	: Civa
Hf	: Hafnium
Ho	: Holmium
H ₂ O	: Su
K	: Potasium
kcal/kg	: Kilo kalori/kilogram
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
km ²	: Kilometre kare
Lu	: Lutesium
m	: Metre
mg	: Miligram
Mg	: Magnezyum
MJ/kg	: Millijoule\kilogram
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
Na	: Sodyum
Na ₂ O	: Sodyum oksit
Nb	: Niobyum
Ni	: Nikel
O	: Oksijen
OH	: Hidroksit
P	: Fosfor

pH	: Hidrojenin gücü
ppm	: Milyonda bir birim
Rb	: Rubidyum
R _o	: Hüminit yansıması
S	: Kükürt
S ₁	: Kaya içerisinde serbest halde bulunan hidrokarbon miktarı
S ₂	: Kerojenin ısısal parçalanmasından açığa çıkan hidrokarbon miktarı
S ₃	: Kerojenin ısısal parçalanmasından açığa çıkan CO ₂
Sb	: Antimon
Sc	: Skandiyum
Se	: Selenyum
Si	: Silisyum
SiO ₂	: Silisyum oksit
Sm	: Samaryum
Sn	: Kalay
SO ₂	: Sodyum oksit
Sr	: Stronsiyum
Ti	: Titanyum
Th	: Toryum
Tl	: Talyum
Tm	: Tulyum
U	: Uranyum
V	: Vanadyum
Yb	: İterbiyum
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkon

W	: Volfram
Wt	: Ağırlıkça
>	: Büyük
<	: Küçük
%	: Yüzde
=	:Eşit

Not: Bu tezde kullanılan ondalık birim virgül (,)’dür.



Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AK	: Ateş Kaybı
ASTM	: Amerika Malzeme ve Test Birliği
B	: Batı
BEN	: Balkan Epidemik Nefropati
CEN	: Avrupa Standartlar Komitesi
CPI	: Karbon Tercih İndeksi
D	: Doğu
EC	: Elektriksel İletkenlik
EH	: Redoks Potansiyeli
EF	: Zenginleşme Faktörü
EKG	: Elektro Kalp Grafiği
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
FID	: Alev İyonizasyon Dedektörü
G	: Güney
GB	: Güneybatı
HAPs	: Tehlikeli Hava Kirletici Elementler
HC	: Hidrokarbon
HCl	: Hidrojenklorür
HI	: Hidrojen İndeksi
Hkb	: Havada kuru bazda
ICCD	: International Centre for Diffraction Data
ICSD	: Inorganic Crystal Structure Database
ICP-AES	: İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma-Atomik Emisyon Spektrometre
ICP-MS	: İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometre

ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
K	: Kuzey
KB	: Kuzeybatı
KD	: Kuzeydoğu
Liç	: Özütleme
MTA	: Maden Tetkik Arama
MY	: Milyon Yıl
ng/L	: nanogram/litre
OI	: Oksijen İndeksi
PI	: Üretim indeksi
Ph	: Fitan
Pr	: Pristan
REE	: Nadir Toprak Elementleri
RIR	: Referans şiddet oranları
TCLP	: Toksisite Özelliklerini Sızdırma Prosedürü
Tm	: Trisnorhopan
Tmax	: S ₂ pikinin maksimuma ulaştığı noktadaki sıcaklık değeri
TOC	: Toplam Organik Karbon
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TS	: Türk standartları
Ts	: Trisnorneohopan
UCC	: Üst Kıta Kabuğu
UCM	: Çözülmeyen Kompleks Karışım
USGS	: Amerika Jeoloji Birliği
XRD	: X-ışını Kırınım Yöntemi
XRF	: X-ışını Flüoresans Spektrometre

WHO : Dünya Sağlık Örgütü



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası.....	2
Şekil 2.1. Kömürleşme sürecinin şematik gösterimi (Speight 1983)	6
Şekil 3.1. Çalışma alanında örnekleme yapılan kuyuların konumları	18
Şekil 4.1. Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası (Cengiz ve Kuşcu 1993; Elitok 2000; Kuşcu ve Aydoğan 2003; Örmeci 2005; Kanbur 2006'dan değiştirilerek alınmıştır).....	22
Şekil 4.2. Çalışma alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Örmeci 2005'den değiştirilerek hazırlanmıştır)	23
Şekil 4.3. IS71 ve IS105no'lu sondaja ait dikme kesit	29
Şekil 4.4. IS114 no'lu sondaja ait dikme kesit.....	30
Şekil 4.5. Kömürün yanmasından kaynaklanan çevre ve sağlık problemleri (Çancı vd. 1997).....	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kömürün içinde bulunan mineraller (Gluskoter 1977)	10
Çizelge 4.1. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kömür örneklerin tüm kaya ve kil bileşenleri	37
Çizelge 4.2. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kayaç örneklerin tüm kaya ve kil bileşenleri	38
Çizelge 4.3. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kömür ve kayaç örneklerinin major ve iz element sonuçları	40
Çizelge 4.4. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kömürlü birimlerde bulunan major oksit sonuçları	43
Çizelge 4.5. Şarkikaraağaç sahasında bulunan kömürler ile UCC, Dünya, Linyit, Türkiye, ABD ve Çin kömürlerine ait element konsantrasyonlarının aritmetik ortalama değerleri	44
Çizelge 4.6. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kömürlü örneklerde, çevreye duyarlı iz element sonuçları	46
Çizelge 4.7. İz elementlerin çevresel ilgilerine göre sınıflandırılması (Swaine ve Goodarzi 1995)	48
Çizelge 4.8. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kömürlü birimlerin, hava kirletici iz elementlerinin analiz sonucu	58
Çizelge 4.9. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kayaç örneklerinin iz element sonuçları	58
Çizelge 4.10. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kömür ve kömürün tavan, taban, ara kesmelerinden alınan kayaç örneklerinin, çevreye duyarlı iz element sonuçları	61
Çizelge 4.11. ASTM C 618 Standartları	61
Çizelge 4.13. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kömür ve külünde, çevreye duyarlı elementlerin analiz sonuçlarının karşılaştırılması	69

1. GİRİŞ

Türkiye petrol ve doğalgaz bakımından zengin bir ülke olmaması sebebiyle enerji ihtiyacını gidermek için genellikle kömürü tercih etmek zorunda kalmıştır. Ülkemizin genellikle hem elektrik hemde yakacak olarak kullandığı kaynak kömürdür. Ülkemiz, linyitte rezerv ve üretimi bakımından dünya ölçeğinde orta düzeyde yer alırken, taşkömüründe bu durum alt düzey olarak belirlenmiştir. Dünyadaki toplam linyit rezervinin %1,6'sı ülkemiz sınırları içerisinde yer almakta olup, büyük kısmının ısı değeri düşük olduğundan termik santrallerde kullanımı ön plana çıkmıştır. Afşin-Elbistan havzasının toplam linyit rezervi, ülkemizdeki diğer tüm linyit rezervlerinin %46'sını oluşturmaktadır. En önemli taşkömürü rezervlerimiz ise Zonguldak ve civarındadır. Zonguldak Havzası'ndaki toplam taşkömürü rezervi 1,322 milyar ton, buna karşılık görünür rezerv ise 519 milyon ton düzeyinde bulunmaktadır. Ülkemizde hemen hemen bütün bölgelerde, linyit sahaları yayılmış olarak bulunmakta ve bu linyit kömürlerinin ısı değerleri 1000-5000 kcal/kg arasında değişiklik göstermektedir. Geniş alanlarda yayılım gösteren bu linyitli birimler yaklaşık %68'i düşük kalorili olup %23,5'i 2000-3000 kcal/kg arasında, %5,1'i 3000-4000 kcal/kg arasında, %3,4'ü 4000 kcal/kg üzerinde ısı değerindedir.

Çalışma alanındaki kömürlü birimlerin çıkartılmasının çevresel olarak zararlı olup olmadığı, geçmişte ayrıntılı olarak irdelenmemiştir. Bu kaynaklar ülke ekonomisine katkıda bulunurken canlıların hayatını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu birimlerin çıkartılması ile kömürde, killi kayada ve kömür külünde, önemi giderek artan iz elementlerin zenginleşmeleri, kökensel ilişkileri, çevre ve insan sağlığına etkileri incelenerek, bu konuda endüstriyel ve çevre sağlığı açısından önemli bilgiler elde edilecektir. Çalışmada kömür ve kömürlü kayaların tavan, taban ve ara kesmelerinden alınan örneklerin inorganik özellikleri irdelenecek ve içerdikleri element değerleri belirlenerek, oranları ortaya koyulacaktır. Ayrıca bu örneklerde, ana ve iz element değerleri WHO ve TS266 tarafından belirtilen limit değerleri ile karşılaştırılacaktır.

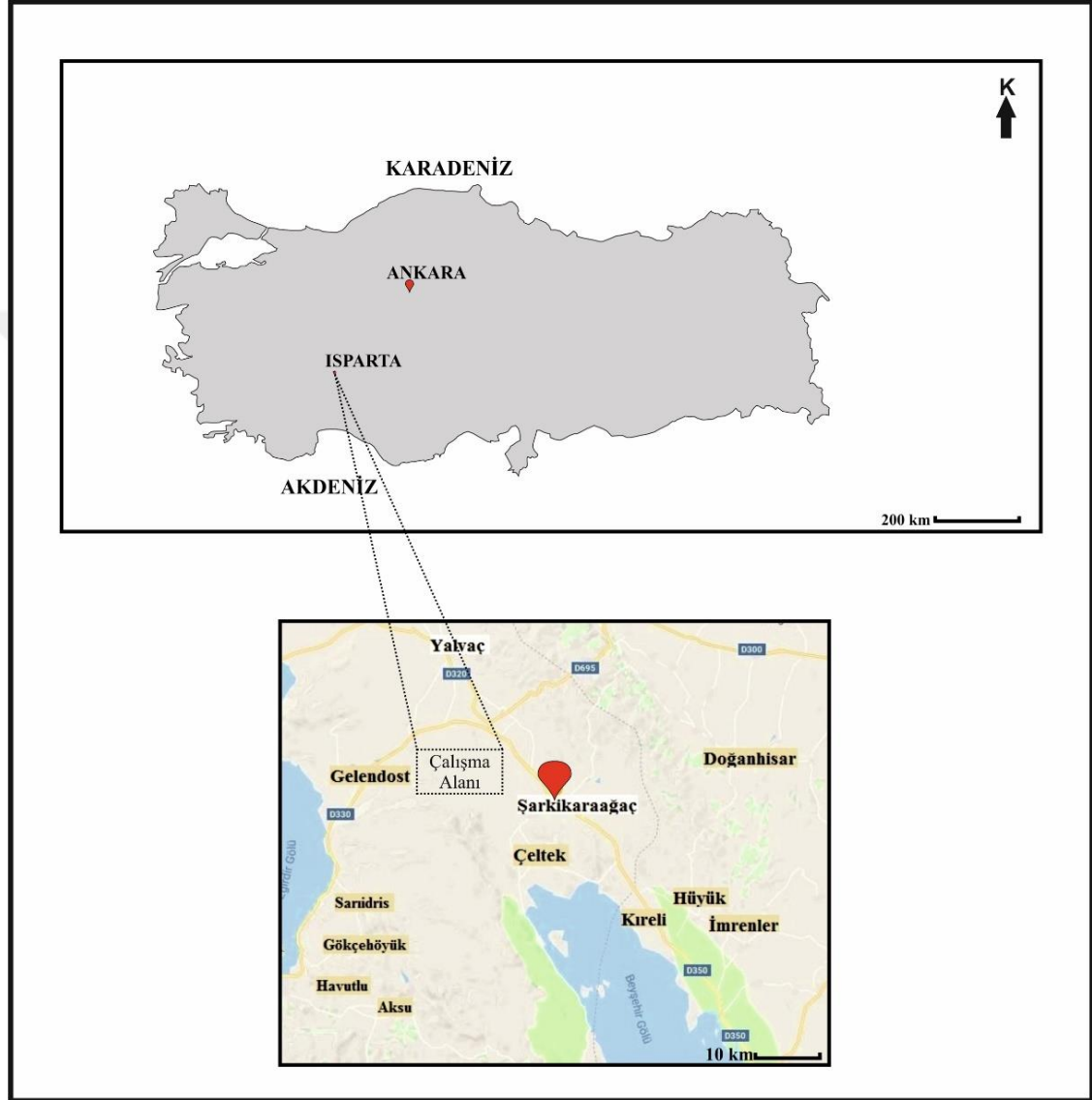
1.1. Çalışmanın Amacı

Çalışma alanı Isparta ilinin Şarkikaraağaç ilçesinde bulunmaktadır. Bölgede yer alan Neojen birimleri genellikle kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı ve marnlardan oluşmakta olup, bazı seviyelerde de kömürlü birimler içeren çökellerden oluşmaktadır. Bu tez kapsamında; kömür/kömürlü seviyeler ile kömürün tavan, taban ve ara kesmelerinden alınan kayaç örneklerinin inorganik (XRD, ICP-MS) jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesini, kömürün yakılması sonucu oluşan küllerde element dağılımını ve bu elementlerin çevreye etkilerini, ayrıca kömürlü birimlerle-kayaç örneklerinin iz element içeriğinde artış meydana gelip gelmediğinin araştırılmasını amaçlamaktadır.

1.2. İnceleme Alanının Konumu ve Morfolojisi

Çalışma alanı Isparta ilinin Şarkikaraağaç ilçesi olup güneyde Beyşehir, kuzeyde Yalvaç, Akşehir, Doğanhisar, batıda Gelendost ve Eğirdir, doğuda Hüyük, kuzeybatıda ise Yenişarbademli ile çevrilidir (Şekil 1.1). Afyon L26-c3 ve L26-c4 pafta sınırları içerisinde bulunan çalışma alanı, 45 km²'lik yüzölçümüne sahiptir.

Şarkikaraağaç ilçesi Isparta il merkezine 120 kilometre, Konya il merkezine 157 kilometre uzaklıktadır. İlçede köy ve kasabalara rahatlıkla ulaşım imkânı mevcuttur. Ayrıca Şarkikaraağaç'a bağlı kasaba ve köyler ilçe merkezine oldukça yakındır. En yakın beldeleri ilçe merkezine; Çiçekpınar (5 km), Beyköy (5 km), en uzak belde ise, Gedikli Köyü (30 km)'dür. Şarkikaraağaç ilçesi verimli bir ova üzerine kurulmuştur. Beyşehir Gölü'nün bir bölümü ilçe sınırları içerisinde.



Şekil 1.1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası

İlçe kuzeydoğuda Sultandağları, batıda Anamasdağları, güneyde Orta Toroslar, Karadağ ve Kızıldağ ile çevrilidir. Bununla beraber inceleme alanının doğudan batıya doğru önemli yükseltileri; kuzeyinde Kızılın Tepe (1256 m), Koçyatağı Tepe (1557 m), Sulu Tepe (1983 m), kuzeydoğusunda Ağlayan Tepe (2224 m), doğusunda Oluk Tepe (1943 m), Toklu Tepe (1951 m.), güneydoğusunda Kızıl Tepe (1773 m), Kelahmet Tepe (1642 m), Kızıl Tepe (1624 m.), güneyinde Külbaşı Tepe (1854 m), Sürütmedağı Tepe (1542 m.), Homat Tepe (1256 m), Çiçeklidağ Tepe (2400 m), güneybatısında Yavşanlı Tepe (2381 m), Kocakar Tepe (2331 m.), batısında Delioğlansivrisi Tepe (2103 m),

Akarca Tepe (2109 m), Kale Tepe (2338 m.), Namazgah Tepe (2347 m), kuzeybatısında Göztaş Tepe (2825 m), Arapsivrisi Tepe (1628 m), Karagüney Tepe (1421 m)'dir.

Yöre, iklim olarak Akdeniz iklimi ile karasal iklim arasında olmasına rağmen, karasal iklime daha yakın bir iklim yapısına sahiptir. Yazları sıcak ve kurak; kışları ise soğuk ve yağışlıdır. Şarkikaraağaç, önceleri Yalvaç'a bağlı bir kasaba iken 1863 yılında Konya'ya bağlı bir ilçe haline gelmiştir. 1878 yılında ise Yalvaç ile Şarkikaraağaç, birer ilçe olarak Isparta iline bağlanmıştır. İlçenin ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır. Halıcılık, tarım ve hayvancılıkla uğraşan kesimlerin başka bir çalışma konusu ve gelir kaynağıdır. Son zamanlarda sulu ziraata önem verilmesiyle üretim artmıştır.

Devlet Su İşleri,1986 yılında başlayan, Şarkikaraağaç Sulama Projesi yürütmüş ve bu proje ile Beyşehir Gölü'nden alınan su ile 13.783 hektar alanının sulanması planlanmıştır. Isparta ilinde devam eden en büyük sulama projesidir. Ayrıca, Örenköy, Çarıkisaraylar'da işletmeye açık ve Köprüköy' de devam eden gölet çalışmaları vardır (Örmeci 2005).

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Kömür Kavramı ve Oluşumu

Kömür; siyah, koyu gri veya kahverengi-siyah renkli, parlak veya mat bir fosil yakıt olan, değişik oranlarda organik (bitkisel veya hayvansal organizmaların ana maddesi) ve inorganik maddeler içeren, yanabilen ve yandığı zaman içinde bulunan katı inorganik maddelerden bir kısmı kül haline gelirken bir kısımda ayrışarak veya oksitlenme sonucu SO_2 , CO_2 , Cl vb. gibi gazların çıkışına neden olan sedimanter bir kayadır. Başlıca C, H ve O gibi elementlerin bileşiminden oluşmuş olup, diğer kayaç tabakalarının arasında damar halinde uzun bir süre ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkilerin sonucunda meydana gelmektedir. Bileşiminde ayrıca kükürt, demir oksit, alüminyum, karbonat, silisyum, oksijen, hidrojen vb. bulunmaktadır.

Bir sedimanter havzanın bataklık alanlarında biriken bitki kalıntıları jeolojik zaman içinde üzerine depolanan diğer çökellerin altında kalarak gömülmektedir. Gömülme, havzanın jeolojik tarihçesi uyarınca, belli bir derinliğe kadar devam ederek ve son bulmaktadır. Bu süreçte çökeller taşlaşırken organik madde kömürleşmektedir. Sonrasında havzanın kapanmasıyla birlikte çökelleri kıvrımlanır, yükselir ve devamında zamanla aşınma meydana gelmektedir.

Gömülen organik madde ve onunla birlikte bulunan diğer çökeller havzanın türü, çökelişin süresi ve hızına bağlı olarak belirli bir süre boyunca giderek artan yer sıcaklığı ve litostatik basıncın etkisi altında diyajenez, katajenez ve metajenez olarak adlandırılan aşamalardan geçmektedir.

1) *Diyajenez*: Jeokimyasal anlamda diyajenez, havza tabanından başlayarak, gömülme ile yer sıcaklığının 60-80 °C'ye ulaştığı seviyeye kadar olan kesimdeki çökellerde meydana gelen biyolojik, fiziksel ve kimyasal değişikliklerin bütünü olarak tanımlanmaktadır. Erken diyajenez ve geç diyajenez olmak üzere ikiye ayrılmaktadır:

a) *Erken diyajenez*: Kara, göl veya deniz ortamlarında, tabanda biriken cansız organik maddenin, bakteriler aracılığı ile hümüse, turbaya veya sapropele dönüştüğü aşamaya erken diyajenez denmektedir. Bu evrede cansız organik madde aerobik ve/veya anaerobik bakteriler tarafından bozunmaya uğramaktadır. Hümüs, aerobik bakteri etkinliğinin bir ürünü iken, turba ve sapropel kısmen aerobik fakat esas olarak anaerobik bakteri etkinliğinin ürünüdür.

b) *Geç diyajenez*: Erken diyajenez aşamasından geçmiş organik maddenin kerojene, ya da turbanın linyite ve alt bitümlü kömüre dönüştüğü aşamadır ve bu aşama havzanın tabanından itibaren derine doğru yaklaşık olarak ilk 1000 m kesimlik alanda, ayrıca 60-80 °C'den küçük sıcaklık koşulları altında gerçekleşmektedir. Giderek artan gömülmeden dolayı çökeller içinde bakteri etkinliği azalır veya tamamen yok olur. Gömülme sonucu, başlangıçta yüksek gözenekliliğe sahip olan taze çökellerin içerisinde bulunan organik maddenin, sıkışmadan dolayı gözenekleri gittikçe küçülmemektedir. Gözeneklerde bulunan su dışarı atılarak, çökelişin ve organik maddenin hacmi küçülmemekte ve katılaşmaya başlamaktadır.

Bu durumlar meydana gelirken organik maddeden giderek azalan miktarlarda, CH₄, CO₂ gibi biyolojik gazlar ve H₂O türemektedir, bu aşamalar sonucunda çökelin mineral madde yüzdesi göreceli olarak artmaktadır. Geç diyajenez aşamasında kömür, daha linyit ya da alt bitümlü kömür şeklinde bulunmaktadır. Organik madde henüz turba aşamasında iken huminitin yansıtma derecesi (Ro) %0,2 dolayındadır. Başlangıçta biyopolimer şeklindeki organik maddenin molekül ağırlığı yüksek jeopolimere, bir başka deyişle kerojene dönüşmektedir.

Kerojen: Diyajenez geçirmiş organik maddedir. Her çeşit kömür, bitümlü şeyl ve çamurtaşı, şeyl ve killi kireçtaşı gibi ince taneli sedimanter kayaçlar içinde bulunabilen kerojenlerin, atomik H/C ve O/C oranları Van Krelvelen tipi (Van Krelvelen 1961) bir diyagrama yerleştirildiğinde 3 tip olduğu görülmektedir.

1. Tip kerojen (gölsel ve denizel kerojen); alg kökenlidir ve mikroskopta gözlemlenebilmektedir. Çoğunlukla göllerin tabanında oksijensiz ortamda sapropel (organik çamur) olarak depolanan 1. Tip kerojen, liptinit yönüyle zengindir. Bitümlü şeyllerin içerisinde bol miktarda bulunmaktadır. Diyajenez aşamasının başlangıcında hidrojen oranı yüksek, oksijen oranı düşüktür (Tucker 1991).

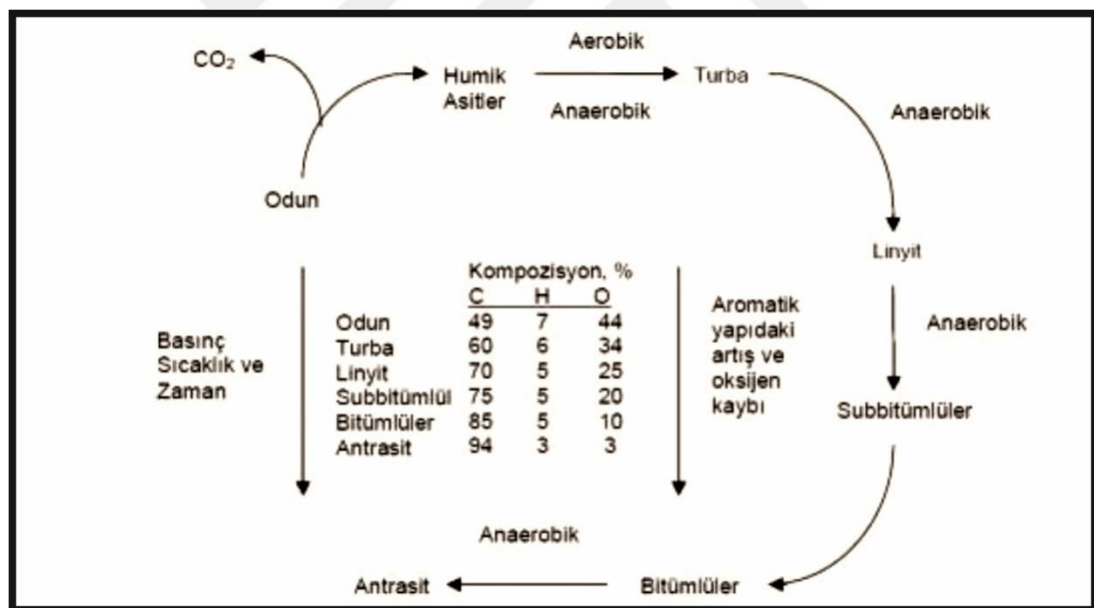
2. Tip kerojen (denizel ve karasal kerojen); başlıca fitoplankton, zooplankton ve bakterilerden kaynaklanan kerojen olmakla birlikte, liptinit ve kükürt oranları yüksek olarak bulunmaktadır. Örneğin, petrolü Paris sedimanter havzasında ana kaya görevi yapan Erken Toarsiyen yaşlı şeyllerde ve Cezayir'deki Erken Silüriyen yaşlı şeyllerde bulunan organik madde tipidir. Ayrıca bitümlü şistler içerisinde yer almaktadır. Yüksek H/C ve düşük O/C oranına sahip olan 2. Tip kerojenin petrol verimide yüksektir.

3. Tip kerojen (karsal kerojen); ağırlıklı olarak hümk malzemedan, kara kökenli, damarlı büyük bitkilerin odunsu kesimlerinden oluşmaktadır. Diğerlerine oranla daha az hidrojen ve daha fazla oksijen kapsar. Linyit, taşkömürü, antrasit gibi hümk kömürlere ait organik madde 3. Tip kerojendir (Einsele 1992; Hunt 1996; Durand 2003). Vitrinit bol bulunmakla birlikte yanında az miktarda da olsa liptinit ile inertinit bulunmaktadır (Killops 2005).

2. *Katajenez:* Sedimanter bir havzada gömülmenin devam etmesi halinde kerojen, diyajenezden sonra katajenez ve ardından da metajenez evrelerine geçmektedir ve bu aşama bir kaç bin metre derinliklerde çökelin taşlaştığı, ayrıca kerojene ait iri moleküllerin sıcaklık etkisiyle parçalanarak küçük hidrokarbon moleküllerine (sıvı veya gaz) dönüştüğü aşamadır. Bu da yer sıcaklığının 60- 80 °C'den 150 - 200 °C'ye kadar yükseldiği kesime karşılık gelmektedir (Burkhard ve Eggenberger 2001; Patison vd. 2001). Bu evrede kerojen olgun olarak bulunmaktadır. Katajenez sırasında Tip 3 kerojen taşkömürü aşamasında olup, taşkömürünün katajenez başında yaklaşık %45 olan uçucu madde oranı, sıcaklığın etkisiyle, katajenez sonunda %15 seviyesine inmektedir. Bu aşamadaki kerojen içindeki vitrinit yansıtma değeri %0,5-2,0 arasındadır.

3. *Metajenez*: Bir sedimanter havzada biriken ve ardından gömülen çökellerin ve organik maddenin ulaşabileceği en son aşama olarak tanımlanmakla birlikte 150-200 °C'den yüksek, 300 °C'den düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir (Ahmed vd. 2004). Ancak büyük derinliklerde gerçekleşmektedir. Kerojen bu safhada aşırı olgun durumda bulunur, vitrinit yansıtma derecesi %2-4 arasındadır ve her çeşit kerojenin H/C oranları 0,5'ten küçüktür. Aynı şekilde O/C oranı da küçülmüştür. Metajenez evresinde Tip 3 kerojen yarı antrasit veya antrasit şeklinde bulunmaktadır. Metajenez sonunda organik metamorfizma kısmı son bulmakta ve daha yüksek sıcaklık, basınç koşullarına geçerek bölgesel metamorfizmaya geçilmektedir. Bölgesel metamorfizma düşük, orta ve yüksek dereceli olarak sınıflanmaktadır. Bu bölümlerden orta ve yüksek dereceli metamorfizma aşamalarında organik madde yarı grafit ve grafit şeklindedir. Yarı grafitin vitrinit yansıtması %6,5-9,0 arasında iken, grafitin vitrinit yansıtması > %9,0'dur.

Bu süreçlerde havzada yer alan çökellerde fiziksel ve kimyasal değişiklikler meydana gelmektedir; su (nem) yüzdesi, uçucu madde miktarı azalmakta ve element bileşimi değişmektedir (karbon oranı artar, hidrojen ve oksijen oranı azalır). Kalorifik değeri ve vitrinit yansıtma derecesinde de artış meydana gelmektedir. Gömülmeyle birlikte sistemli bir şekilde değişen bu parametrelerden kömürün, kömürleşme derecesinin (rank) belirlenmesinde yararlanılmaktadır (Creedy 1988). Bu değişimler rank parametresi olarak değerlendirilmektedir. Kömürleşme süreci Şekil.2.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Kömürleşme sürecinin şematik gösterimi (Speight 1983)

Doğada tüm kömürler hümik ve sapropelik olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır:

Hümik olanlar, bir sulak alan çeşidi olan bataklıklarda biriken bitkisel organik maddenin, önce bakterilerin etkisiyle; sırasıyla linyit, alt bitümlü kömür, taşkömürü veya antrasite dönüşen ve kapsadığı litotiplerden dolayı bantlı bir yapı sunan kömürlerdir.

Turba, birçok çökeltme ortamının (alüvyon yelpazesi, menderesli nedir, göl, delta, kırıntılı kıyı çizgileri-lagün, kıyı ovası gibi) belli kesimlerinde veya bu ortamlara ait alt ortamlardaki bataklıklarda oluşmaktadır.

Sapropelik olanlar ise katmanlı su kapsayan deniz, göl ve lagünlerde, oksijenli yüzey suları içinde veya asılı halde bulunan fitoplanktonların, zooplanktonların ve karadan akarsu veya rüzgârla taşınan spor ve polenlerin oksijensiz havza tabanında organik çamur şeklinde depolanması ve bu çamurun daha sonra gömülerek kömürleşmesi sonucu oluşmaktadır.

Turba, karada ve suya doygun bir zeminde (bataklık) depolanırken, sapropel sulu ortamda, göl veya deniz tabanında çökmektedir. Kömürün oluşumu, bataklık ortamlarında şu koşulların bulunması halinde gerçekleşmektedir:

- Nemli ve sıcak iklim,
- Bataklık ortamında yeterli organik maddenin bulunması,
- Bataklık suyu pH şartlarının 4-5 civarında olması,
- Bataklığın malzeme gelimi ile birlikte aşağı doğru çökmesi,
- Bataklığın zamana bağlı olarak örtülmesi,
- Bitki parçalarının bozuşması, parçalanması,
- Bataklık suyu içerisinde bazı kimyasal reaksiyonlar sonucu bu organik malzemenin fiziksel ve kimyasal değişikliğe uğraması gerekmektedir (Sungur 2012).

2.2. Kömürlerin Sınıflandırılması

Kömürleşme süreci ve yataklanma; nem içeriği, kül ve uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral madde içeriklerinin yanı sıra jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikler yönünden kömürler çok çeşitlilik göstermektedir. Kömürlerin bu şekilde birbirine benzer özellikler ve değerler göstermesi, sınıflama yapılmasında zorluk yaratmış, bu doğrultuda birbirine en yakın özellikte ve değerlerde olan kömürlere göre sınıflama yapılmıştır.

Değişik tipte kömürlerin kullanım amaçlarına göre uluslararası sınıflandırılmasında; ilk olarak 1957 yılında çeşitli ülkelerden üyelerin oluşturduğu Uluslararası Kömür Kurulunca birçok ülkeden temin edilen numuneler üzerinde yapılan çalışmalar, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından da desteklenerek genel bir sınıflama yapılmıştır. Bu sınıflamada; kalorifik değer, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri temel alınarak sert (taşkömürü) ve kahverengi (alt-bitümlü ve linyit) kömürler olarak iki ayrı sınıfa ayrılmıştır.

a) Sert Kömürler (Taşkömürü-Hard Coal): Nemli ve külsüz bazda 24 MJ/kg (5700 kcal/kg) üzerinde kalorifik değere haiz olan kömürdür. Uçucu madde içeriği, kalorifik değer ve koklaşma özelliklerine göre alt sınıflara ayrılır.

b) Kahverengi kömürler (Brown Coal): Nemli ve külsüz bazda 24 MJ/kg. (5700 kcal/kg) altında kalorifik değere haiz olan kömürdür. Toplam nem içeriği ve kalorifik değere göre alt sınıflara ayrılırlar.

Kömürün sabit karbon ve uçucu madde yüzeyleri ile kalorifik gücü ve ayrıca kekleşme özelliği esas alınarak ABD tarafından kömür için ASTM sınıflaması yapılmıştır. Kuzey Amerika' da ve diğer birçok ülkede yaygın olarak kullanılmakta olan bu sınıflama hümik kömürler için yapılan bir sınıflamadır.

ASTM kömür sınıflaması (ASTM 1981):

Antrasit: En yaşlı ve karbon yönünden en zengin kömür çeşididir. Meydana geliş tarihî 300 milyon yıl geriye dayanan antrasitteki karbon yüzdesi 90-95'i bulmaktadır.

Taşkömürü: Antrasit kadar yaşlı olmamakla beraber 200-250 milyon yıllık bir geçmişe sahip olduğu tahmin edilmektedir. Karbon yüzdesi 80- 90'ı bulmaktadır.

Linyit: Daha oluşumunu tamamlamamış kömürlere dendir. Tahminen 60 milyon yıl önce meydana gelmeye başlayan linyitte su ve bununla birlikte birçok yabancı madde de bulunmaktadır. Karbon yüzdesi 65-70 arasındadır.

Alman sınıflaması ise ASTM sınıflamasından farklı olarak turbayı da kapsamaktadır. Turbaya daha çok bataklık olan yerlerde rastlanmaktadır. İçindeki su miktarı yüksektir. Karbon yüzdesi ise 60'ı geçmemektedir. Turba, henüz karbonlaşma safhasını tamamlamamış genç kömürlere dendir. Turbayı da kapsayan bu sınıflamada parametre olarak kömürün vitrinit yansıtma derecesi, uçucu madde, karbon ve su yüzdeleri ile ısı gücünde dikkate alınmıştır. Ayrıca turba-linyit sınırı çok belirgin değildir.

2.3. Kömürlerde Mineral Madde

Kömür, organik madde oranı ağırlık olarak %50'den fazla ve mineral madde oranı ise % 50'den az bileşenlerin değişik oranlardaki karışımı ile meydana gelen organik bir çökeldir. Mineral madde, kömürdeki inorganik minerallerin ve elementlerin toplamı olarak göz önüne alınmaktadır. İnorganik materyal, belirli kristal yapısı olan katılar, boşluk suyu içerisinde çözünmüş tuzlar veya kömürlerin içerisinde bulunan organometalik bileşiklerdir (Ward 1984). Kömürde mineral madde miktarı kömürün kalitesini belirlemektedir; bu oran yüksek ise düşük kalitede olarak değerlendirilmektedir.

Kömürün mineral bileşenleri; ince bantlar, organik madde içinde tek kristal ya da kristal kümesi, boşlukları dolduran kristaller, çatlakları dolduran kristaller ve kömür topları şeklinde bulunmaktadır.

Kömürde mineral bileşenleri kökenlerine göre 3 grupta toplanmaktadır:

1- Turbanın çökeldiği ortama dışarıdan su ve/veya rüzgâr aracılığı ile ya da volkanik etkinlik sırasında gelen ve organik madde ile birlikte depolanan kırıntılardır. Bunlara detritik minerallerde denilmektedir ve kuvars, feldispat, kil, volkan külleri olarak örneklendirilebilir.

2- Su ortamında yaşayan organizmalara ait olup daha sonra turbaya karışan mineral maddeler veya bunların parçaları olmaktadır ve midye kabukları (CaCO_3), diyatomalara (SiO_2), sünger spikülleri (SiO_2) olarak örneklendirilmektedir.

3- Ortamdaki su içinde eriyik halde bulunan mineral maddenin kristallenerek çökmesi sonucu ortaya çıkan minerallerdir. Bu tür minerallere, yerinde oluşan mineral anlamına gelen otijenik mineral denilmektedir.

Otijenik mineraller oluşum zamanlarına göre, sinjenetik ve epijenetik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Genel olarak sinjenetik mineraller, epijenetik minerallere oranla daha yaygındır. Sinjenetik olanlar, yani turba ile eş yaşlı olanlara örnek olarak, pirit (FeS_2) framboidleri, siderit (FeCO_3) yumruları ve bitkisel hücre dolgusu veya gözenek dolgusu şeklinde bulunan kaolinit, kuvars, fosfat ve pirit mineralleri gösterilebilir.

Epijenik olanlar, yani turbanın kömürleşmesinden sonra oluşanlar ise eklem ve klit dolgusu şeklinde bulunan kalsit, dolomit, ankerit, siderit, apatit, dawsonit, illit, klorit olarak sıralanabilmektedir. Kömürün içinde bulunan mineraller Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kömürün içinde bulunan mineraller (Gluskoter 1977)

Mineral İsmi	Kimyasal Formülü
<i>Killi Mineraller</i>	
Montmorillonit	$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2.nH_2O$
Illit	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Kaolinit	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_b$
Halloysit	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$
<i>Sülfür Mineralleri</i>	
Pirit	FeS_2 (kübik)
Markasit	FeS_2 (rombik)
Sfelarit	ZnS
Galen	PbS
Kalkopirit	$CuFeS_2$
Pirotit	$Fe_{1-x}S$
Arsenopirit	$FeAsS$
Millerit	NiS
<i>Sülfat Mineralleri</i>	
Barit	$BaSO_4$
Jips	$CaSO_4.2H_2O$
Anhidrit	$CaSO_4$
Bassanit	$CaSO_4.1/2H_2O$
Jarosit	$(Na, K)Fe_3(SO_4)_2(OH)_6$
Szomolnokit	$FeSO_4.H_2O$
Rozenit	$FeSO_4.4H_2O$
Melanterit	$FeSO_4.7H_2O$
Mirabilit	$Na_2SO_4.10H_2O$
Kieserit	$MgSO_4.H_2O$
<i>Karbonat Mineralleri</i>	
Kalsit	$CaCO_3$
Dolomit	$(Ca, Mg)CO_3$
Siderit	$FeCO_3$
Ankerit	$(Ca, Fe, Mg)CO_3$
<i>Klorür Mineralleri</i>	
Halit	$NaCl$
Silvit	KCl
Bisofit	$MgCl_2.6H_2O$
<i>Silikat Mineralleri</i>	
Kuvars	SiO_2
Biyotit	$K(Mg, Fe)_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Zirkon	$ZrSiO_4$
Turmalin	$Na(Mg, Fe)_2Al_5(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH)_4$
Garnet	$(Fe, Ca, Mg)_3(Al, Fe)_2(SiO_4)_3$
Epidot	$Ca_2(Al, Fe)_3Si_3O_{12}(OH)$
Ortaklaz	$KAlSi_3O_8$
Augit	$Ca(Mg, Fe, Al)(Al, Si)_2O_6$

Topaz	$\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH}, \text{F})_2$
<i>Oksit ve Hidroksit Mineralleri</i>	
Hematit	Fe_2O_3
Magnetit	Fe_3O_4
Rutil	TiO_2
Limonit	$\text{FeO} \cdot \text{OH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Götit	$\text{FeO} \cdot \text{OH}$
Diaspor	$\text{AlO} \cdot \text{OH}$
<i>Fosfat Mineralleri</i>	Florapatit//// $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$

Kömür içerisinde görülen mineraller, kömür sınıflaması yapılmasında, test ve kullanım aşamalarında, damar korelasyonu ile kömür oluşum ortamlarının yorumlanması açısından büyük öneme sahiptir. Mineral tanımlaması yapmak için, optik mikroskopik yöntemlerin dışında X-ışınları difraksiyonu, elektron mikroskobu, ısı analiz, infrared spektrometri gibi yöntemler de kullanılmaktadır.

Kuvars, çoğu kömürde yaygın olarak bulunmaktadır. Ayrıca kilce zengin bantlar içerisinde, detritik, köşeli kuvarsa sıkça rastlanılmaktadır. Buna karşın, kimyasal çökelmeyle turbalaşma sırasında, kömür içerisindeki hücre boşluklarında veya maserallerin çatlak-kırıklarında kalsedon şeklinde de oluşabilmektedir (Ward 1984).

Kaolinit, bitümlü kömürlerin ve kahverengi kömürlerin en önemli bileşenini oluşturmaktadır. Diğer kil minerallerinden; illit, klorit, montmorillonit veya simektite kömürlerde rastlanılmaktadır.

Pirit, birçok kömür içerisinde en yaygın bulunan mineraldir ve öz şekilli kristaller, framboidal, masif, hücre ve kırık-çatlak dolguları olarak görülmektedir. Ayrıca, piritin yanı sıra küçük miktarlarda; sfalerit, markasit ve galene de kömürde ve kömürlü birimlerde rastlanmaktadır. Siderit, kömür içinde, çoğunlukla yumrular halinde görülür ve turba oluşumu sırasında kimyasal çökelmeyle oluştuğu sanılmaktadır. Çoğu kömürde, kalsit, dolomit ve ankerit, kömür oluşumundan sonra oluşmuş kırık çatlak yüzeylerinde görülmektedir. Diğer taraftan, özellikle ülkemiz linyit ve alt bitümlü kömürlerinde, kömür içinde kireçtaşı bantlarına rastlanmaktadır (Karayığit and Whateley 1997).

Kömür içerisindeki kükürt, hem organik hem de inorganik şekilde bulunmaktadır. İnorganik kükürt genelde pirit şeklinde, az bir miktarı ise sülfatlar şeklinde bulunur. Organik kükürt ise tiyofenik heterosiklik ve alifatik sülfidler şeklinde bulunmaktadır (Hayatsu vd. 1978). Kömür içerisindeki oksijen miktarı kömürün derecesine göre değişmektedir.

2.4. Kömürde Majör (Ana)-İz Element Oluşumu

Yerkabuğunda %1'den fazla oranda bulunan elementler majör elementler olarak tanımlanır ve Si, Al, Fe, Ca, Na, K ve Mg olarak sınıflandırılır. Minör elementlerde yer kabuğunda %0,1-1 arasında değere sahip olan Ti, Mn, P'u kapsamaktadır. Kayaçlarda ve kömürlü birimlerde değerlerin iz element olarak sınıflanabilmesi için %0.1'in altında konsantrasyona sahip olması gerekmektedir.

Kömür içinde bulunan iz elementler, ya doğrudan kömürü oluşturan bitkilerden veya çökeltme ortamına ait sudan, ya da havzaya dışarıdan taşınan kırıntılardan kaynaklanır.

Kömürde yaklaşık olarak saptanan 84 iz elementten Hg, Zn, Cd, As, Pb, Mn, Mo, Co, Ni, Cr, Se ve Cu gibi elementler kömürde inorganik olarak yer alırken; Ge, Be, ve B organik kısmında yer almaktadır. Ayrıca P, Ga, Ti, Sb ve V hem organik hem de inorganik kısmında bulunmaktadır (Kural 1998). Buharlaşıp baca gazına dahil olduğu öne sürülen Hg ve Se gibi elementlerin yanı sıra, kömürün organik yapısı içinde yer alan Cr, As, Cd ve Br gibi iz elementlerin de buharlaştıkları ve elektro-statik filtre ile baca gazından uzaklaştırılmadıkları tespit edilmiştir (Kural 1998; Xu et al. 2003). Kömürde bulunan iz element derişimleri, yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonlardan çok farklı değildir. Ancak kömürün yanması sırasında, karbon ve nemin uzaklaşmasıyla bu elementler külde konsantre olmaktadır. Küldeki iz elementlerin hareketliliği, bu elementlerin uçuculuk özelliğine, kimyasal eğilimlerine, kömürdeki konsantrasyonlarına, fiziksel değişimlerine, mineral özelliğine, yanma parametrelerine (sıcaklık, aşırı hava katsayısı) ve kazan çıkışına bağlıdır.

Yanan kömürde iz element davranışının araştırıldığı çalışmalarda iz elementler; uçucu olup gazlı fazda kalanlar: Hg, Se (Grup 1), kısmen buharlaşan ve baca gazı soğurken uçucu külde kalanlar: As, Cd, Pb, Sb, Sn, Zn, Cr, Co, Cs, Cu, (Grup 2) ve buharlaşmayarak dip külü ve uçucu kül arasında eşit olarak dağılabilenler: Mn, Sc, Th, Rb, Zr, V (Grup 3) olmak üzere gruplandırılmaktadır (Huang et al. 2004; Xu et al. 2003).

2.5. Önceki Çalışmalar

Brun vd. (1971), Batı Toroslar'ın yapısal sorunlarına açıklık getirecek bölgesel yorumlar yapmışlardır. Çalışmacıların amacı; Otokton Torosları oluşturan örtü Mesozoyik-Tersiyer ile eski temelin ve Batı Toroslar'daki üç büyük nap sisteminin tartışılmasıdır. Bu çalışmada, Beyşehir-Hoyran napı üzerinde durulmuş, Çaltepe Formasyonu (Alt-Orta Kambriyen) ile başlayan istif, dereceli olarak Seydişehir şeyline geçmiş olduğunu tespit etmiştir. Gökdağ serisine Permo-Karbonifer yaşını uygulayan Fransız çalışmacı grubu, Triyas' ta; konglomera, Tarasçı kireçtaşı (Orta Triyas), Kasımlar, Kırkkavak, Sarıpları Formasyonu ve Menteşe dolomitini (Üst Triyas) ayırtlamışlardır. Üst Jura ile başlayan "Komprehensif Seri" nin Lütetiyen'e kadar uzandığını Paleosen-Eosen filişinin bunlar üzerine aşılal uyumsuzlukla geldiğini belirtmişlerdir. Batı Torosların orta ve kuzeyinde 150 km uzunlukta ve 15-20 km genişlikteki allohton birimlerin Beyşehir-Hoyran napını oluşturduğunu ve bu allohton serinin, alttaki otokton seride bulunan senklinale yerleşmesinden dolayı erozyondan

korunduğunu bildirmişlerdir. Allohton birimlerde Triyas yaşlı “Ofiyolit ve Gencek kireçtaşı” ile daha üstte Huğlu ve Boyalı Tepe Formasyonlarını haritalamışlardır.

Despraries ve Gutnic (1972), Batı Toroslar’ın iç kenarında, otokton tabanda karasal fasiyesler bulunduğunu belirtmişler, bunların bir kısmı Sultandağ Ordovisiyen şistleri tepesine yerleşmiş kırmızı kumtaşı; diğer kısmı Mesozoyik kireçtaşı tabanında Kimmerisiyen’den kalma diyabaz yükseltiiler üzerinde bulunan kırmızı formasyon olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Kimyasal ve minerolojik analizler, kırmızı kumtaşlarının dağ eteklerindeki detritik formasyonlar olduğunu ortaya koymuş ve bu sonucunda paleocoğrafik yorum hazırlamışlardır.

Demirkol vd. (1977), bölgede görülen kaya birimlerini Otokton ve Allohton olarak ayırtlamışlardır. Otokton Sultandağ’da stratigrafi, Alt(?) -Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe kireçtaşı ile başlayarak, Ordovisiyen yaşlı Sultandede Formasyonuna geçmektedir. Bu istif Orta-Üst Devoniyen yaşlı Engilli kuvarsiti tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Karbonifer yaşlı Harlak Formasyonu üzerine uyumsuz gelen Karbonifer yaşlı Kocakızıl ve Kartalkaya Formasyonları, Permo-Karbonifer yaşlı Deresinek ve Topraktepe Formasyonları ile devam eder. Malm yaşlı Hacılabaz Formasyonu temel üzerine aşamalı olarak gelir. Kretase yaşlı Koçbeyli Formasyonunun karbonatları ile devam eden istif Paleosen-Eosen yaşlı karbonat ve filiş karakterli çökellerle son bulur. Akarsu ve gölsel çökellerle temsil edilen Bağkonak, Göksöğüt, Yarıkkaya ve Dort Formasyonları ise Üst Miyosen-Pliyosen yaşlıdır. Allohton birimler; Hoyran ofiyoliti ile bunlar içinde yüzen Triyas-Jura yaşlı Babageçidi kireçtaşından oluşmuştur. Araştırmacılar, KB-GD gidişli yapıların bölgede etkin olduğu, ayrıca Kaledoniyen, Hersiniyen ve Alpin Orojenezlerinin de izlerinin görüldüğünü belirtirler.

Demirkol ve Sipahi (1979), Bağkonak, Çimendere, Muratbağı yöresinin jeolojisine yönelik olarak yapmış oldukları çalışmada stratigrafik istifin tabanında Çaltepe kireçtaşlarının olduğunu belirtmişlerdir. Çaltepe kireçtaşlarından dereceli olarak Sultandede şistlerine geçiş olduğunu ileri sürmüşlerdir. Hacılabaz Formasyonunun kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarından oluştuğunu ve Üst Jura yaşında olduğunu belirtmişlerdir. Bunun üzerine açılı diskordansla Neojen birimlerinin geldiği belirtilmişlerdir. Az tutturulmuş killi kum ve çakıldan oluşan birimin yaşı Miyosen olarak belirlenmiş ve geniş yayılım gösterdiği ve formasyonun özelliklerinin tam olarak gözlemlendiği yer olması sebebiyle Bağkonak Formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Daha batıda kumtaşı, miltaşı, kiltası paketlenmesinden oluşan birim tipik olarak gözlemlendiği yer olması sebebiyle Göksöğüt Formasyonu olarak isimlendirilmiştir.

Akay (1981), Beyşehir yöresindeki Kambriyen yaşlı kayaların Orta Kambriyen Alt Ordovisiyen yaşındaki Seydişehir şistleri üzerine bindirmiş olduğunu ve bindirme sonrasında da Üst Liyas-Alt Dogger karbonatlarının hem Kambriyen yaşındaki kayaları, hem de Seydişehir şistlerini aşısız uyumsuzlukla örttüğünü ifade etmiştir. İnceleme sahası içinde de Çaltepe kireçtaşları yer yer Sultandede şistleri üzerinde tektonik dokanakla yer almakta veya şistler içerisinde ilksel dokanak ilişkileri bozulmuş olarak gözlemlenmiştir.

Koçyiğit (1984), Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişimle ilgili olarak bir çalışma yapmıştır. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında tektonik gelişimin üç döneme ayrıldığını ifade etmiştir. Bu tektonik dönemleri Eski,

geçiş ve yeni tektonik dönemler olarak üçe ayırmıştır. Bunlardan yeni tektonik dönemi temsil eden jeolojik olay ve yapıların, Kuzey Anadolu Fayı'ndan çok, güneydeki Ege hendeğine bağlı olarak gelişen çekme tektoniğinin bir sonucu olduğunu ifade etmiştir. Güneybatı Türkiye'de yalnızca K-G yönelimli tek bir genişleme olmayıp, büyük boyutlu horst-graben sistemleri, onları sınırlayan normal faylar ve deprem odakları dağılımının ortaya koyduğu gibi başlıca KB-GD, KD-GB, K-G ve D-B yönelimli dört ayrı genişleme yönü olduğu ifade edilmiştir.

Boray vd. (1985), Isparta bükümünün kuzeyinde Şuhut-Çay, Yalvaç-Gelendost ve Sultandağ sahalarındaki Neojen ve Kuvaterner çökellerini incelemişlerdir. Bölgede havzanın neotektonik dönemin Üst Miyosen'de başladığını ifade etmişlerdir. Neojen çökellerin Üst Miyosen-Pliyosen zamanında karasal, akarsu ve göl fasiyesinde oluştuğunu ve daha eski kayalar üzerinde uyumsuz olarak yer aldıklarını belirtmektedirler. Bölgedeki bu çökellerde tektonik şekil değiştirme ile yaklaşık K-G uzanımlı kıvrımlar ve ters faylar ile bölgenin kuzeyinde küçük bir alanda D-B uzanımlı normal fayların oluştuğunu ortaya koymuşlardır. Bölgede Üst Miyosen'den beri devam eden bir sıkışmadan ve bu nedenle Isparta Bükümünün kuzey kesiminde D-B yönlü daralmadan bahsetmektedirler.

Demirkol ve Yetiş (1985), Batı Torosların kuzeyinde Sultandağ kuzeybatısındaki Allohton birimler ve stratigrafileri ile ilgili olarak yapmış oldukları çalışmada, bölgede temelde Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen yaşlı Sultandede Formasyonunun yer aldığını, bunu aşıl uyumsuzlukla Maestrihtiyen öncesi karbonatların, Maestrihtiyen-Lütesiyen aralığında pelajik ve neritik çökellerin aşıl uyumsuzlukla üzerlediğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, bölgede Üst Miyosen'de başlayan yeni bir tektonik etkinlik dönemi içinde hızlı bir karasal ve görsel kırıntılı depolanmadan, Kaledoniyen ve Alpin dağ oluşumu hareketleri ile gelişmiş yapı şekillerinden bahsetmektedirler. Alt Ordovisiyen-Liyas aralığını temsil eden birimlerin bulunmamasını bu zaman aralığında çökeltmemeye değil, bunların aşınımı ile yok olduğuna bağlamaktadırlar. Pireniyen evresine bağlı olarak Liyas-Lütesiyen yaşlı kıvrımlı istifte sistemli eklem takımlarından bahsetmekte, Lütesiyen'den itibaren düşey yönde yükselme alçalmalar ve bunlara bağlı olarak faylanmalar olduğunu, Pliyosen sonundaki yükselmelerin Radoniyen evresiyle ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

Demirkol (1986), Bölgede Kaledoniyen, Hersiniyen, ve Alpin orojenez fazlarının etkin olduğunu ortaya koymuştur. Sultandağ ve dolayının tektonik gelişiminde çekme ve sıkışma türü tektonik evrelerin tekrarlanarak birbirini izlediğinden söz etmiştir. Bu tektonik evreleri iki ayrı döneme ayırmıştır. Bunlardan birincisi, Alt Kambriyen Hoyran ofiyolit karmaşığının bölgeye yerleştiği Lütesiyen sonuna kadar eski tektonik dönem ve ikincisi ise Üst Miyosen-Pliyosen çökellerinin gelişimini etkileyen yeni tektonik dönem olarak ifade edilmiştir.

Eren (1990), Engili (Akşehir) ve Bağkonak (Yalvaç) köyleri arasında Sultandağları orta kesiminin tektonik tarihçesini aydınlatmaya yönelik bir çalışma yapmıştır. İnceleme sahasının tabanında yer yer mermerleşmiş fakat genelde metamorfik kireçtaşı ve dolomit, üst kesiminin ince fillit ve metakumtaşı aratabakalı yumrulu kireçtaşlarından oluşan Alt(?) -Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe Formasyonunun yer aldığını ve bunun üzerinde metakumtaşı, fillit aralanmalı, intraformasyonel çakıl içerikli metakonglomeralardan oluşan Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen yaşlı Sultandede

Formasyonunun bulunduğunu belirtmiştir. Hoyran ofiyolitine ait şeyl, grovak piroklastik konglomera-breş arakatlı diyabazik bileşimli yastık lavlar tektonik olarak üst kesimlere gelmiştir, Üst Jura-Üst Kretase yaşlı Hacılabaz kireçtaşı olistolotine ait kireçtaşı ve dolomitler ile bu birimleri açısız uyumsuzlukla üzerleyen Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı genellikle alüvyal yelpaze çökellerini karakterize eden moloz ve çamur akmaları ile örgülü nehir çökellerinden oluşmuş Bağkonak Formasyonun ve Yarıkkaya Formasyonunun yer aldığını ortaya koymuştur. Sultandağları masifinde üç ayrı dağ oluşum hareketinin etkileri ve bu hareketlere bağlı kıvrımlı ve bindirmeli yapılardan söz etmiştir. Yörede Triyas(?) yaşlı Kocakızıl Doleritine ilişkin kayaçlarda metamorfik mineral parajenezlerinin gözlenemeyişi ve bunlarda düzlemsel ve çizgisel tektonik dokusunun gelişmemiş olması nedeniyle Sultandağları masifinde metamorfik tektonik gelişiminin Hersiniyen dağ oluşumu ile son bulduğunu ifade etmiştir. Alpin hareketlerine bağlı olarak yöreye taşınan Hoyran Napı'na ait Hoyran ofiyoliti ve Jura-Kretase yaşlı Hacılabaz kireçtaşı olistolitinin inceleme alanının güneybatısında Sultandağları masifine ait birimler üzerine Miyosen öncesi bindirdiğini ifade etmiştir. Hoyran Napı'nın GD'dan KB'ya sürüklenmiş olabileceğini vurgulamıştır. Yörenin Kaledoniyen ve Hersiniyen dağ oluşum hareketleri ile kıvrımlı ve bindirmeli iç yapısını kazandığını, Alpin hareketlerle naplı bir yapıyı bünyesine ekleyip sonra yoğun olarak genç-tektonik hareketlerle Üst Miyosen ve sonrası blok faylanmaların etkisinde kaldığını belirtmiştir.

Yağmurlu (1991), Yalvaç-Yarıkkaya Neojen havzasının tektono-sedimanter özellikleri ve yapısal evrimini aydınlatmaya yönelik olarak bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada havzayı güneyden sınırlayan Anamas Dağlarının büyük bölümüyle Triyas ile Kretase arasında değişen ve 5000 m kalınlığa ulaşan karbonat kaya istifinden oluştuğunu ifade etmiştir.

Elitok (2000), Şarkikaraağaç (Isparta) ve civarının jeoloji, mineroloji ve petrografisini incelemiş, Kızıldağ ofiyolitlerinin jeokimyasal özelliklerini belirleyerek ofiyolitlerin oluştuğu jeoteknik ortama bir yaklaşımda bulunmuştur.

Karayığit vd. (2000a), Çalışmalarında Türkiye'nin çeşitli yerlerindeki (Çayırhan, Seyitömer, Tunçbilek, Orhaneli, Soma, Yatağan, Yeniköy, Elbistan, Kangal ve Çatalağzı) termik santrallerinden elde ettikleri beslemeli kömürlerin ana ve iz element konsantrasyonlarını belirlemeyi hedefleyerek hem kendi içinde hem de dünya kömürleri ile karşılaştırarak zenginleşme gösteren iz elementleri ortaya koymuşlardır. Beslemeli kömürde mineraller tanımlanmış ve ana-iz elementlerin mineral madde ve organik madde ile olan ilişkisi hakkında yorumlamalarda bulunulmuştur.

Akar (2001), Ege Bölgesi'nde bulunan Soma, Yatağan, Kemerköy, Yeniköy kömür yakan termik santrallerinden üretilen ağır metallerin neden olduğu çevresel kirlilik saptanmaya çalışılmıştır. Türkiye'deki Termik santrallerde yaygın olarak linyitler kullanılmaktadır. Kömürün oluşumu sırasında B, Cr, Cu, N, Mo, S, V gibi pek çok elementi yapısında topladığı bilinmektedir. Yakıldığında bu elementler külde yoğunlaşabilir. Bu kapsamda kül sahalarından alınan örneklerin fiziksel ve kimyasal karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır ve TCLP, ASTM, CEN yöntemleri kullanılarak küllerin zehirlilik potansiyelleri tespit edilmiştir. Ayrıca laboratuvar koşullarında bombada kömürün yanması sonucunda ortaya çıkan gaz fazın içerdiği toksik elementleri saptanmıştır.

Baba (2001), Kömür yakıtlı termik santrallerden kaynaklanan atıkların (kül ve cüruf) birçok toksik element içerdiği ortaya koymuştur. Bu elementlerin depolama ortamı olarak yer altına gömülmesi ile su kaynaklarına sızması, atıkların bertaraf edilmesi ile ilgili çevresel etkileri açısından büyük önem taşıdığını belirtmiştir. Bu çalışmanın amacı, Yatağan Termik Santrali atık depolama sahasından kaynaklanan kirlletici potansiyellerinin yeraltı sularına olan etkilerinin belirlenmesidir. Bu bağlamda, atık depolama sahası olarak belirlenen bölgelerde yer altına sızan sular ve depolama sahasının önünde yer alan gözlem kuyularından alınan su örneklerinden faydalanılarak, kirlletici potansiyellerinin yeraltı sularına olan etkileri araştırılmıştır. Atık depolama sahasında toplanan suların, yeraltı sularına olan etkilerinin araştırılması amacıyla alüvyon akiferlerde herbiri 20 m. derinliğinde üç gözlem kuyusu açılmıştır. Bu kuyularda yapılan basınçsız su deneyi sonuçlarına göre, alüvyon çökellerinin geçirimli ve çok geçirimli sınıfına girdiklerini belirlemiştir. Gözlem kuyularından bazı dönemlerde alınan su örneklerindeki Cd ve Pb değerlerinin Çevre Koruma Örgütü (EPA) tarafından içme suları için önerilen 0.005 mg/l ve 0.015 mg/l sınır değerlerini aştığını gözlemlemiştir.

Özyurt (2006), Çalışmasında, termik santrallerden elde edilen atıklarda bulunan iz elementlerin çevresel etkilerini araştırmıştır. Türkiye'deki termik santrallerde kullanılan kömürün ve kömürlü birimlerin yanması sonucu her yıl büyük miktarda oluşan uçucu küller, atık olarak doğal çevreye bırakılmaktadır. Atık olarak oluşan uçucu kül ve kazan altı külleri birçok çevresel soruna yol açmaktadır. Termik santrallerde kömürün yanmasıyla; kömürle birlikte bulunan kirliliğe sebep olma potansiyeline sahip As, Cd, Ga, Ge, Pb, Sb, Se, Sn, Mo, Ti ve Zn gibi toksik iz elementler atıklara (cüruf, kül ve gaza) transfer olurlar. Birçok toksik elementi içeren uçucu küller ve kazan altı külleri toplama havuzlarında ya da yığınlar halinde depolanmaktadır. Kül havuzları veya yığınlarından hareket eden çözülebilir metal iyonları ve bileşiklerinden dolayı; toprak, yüzey ve yer altı suyunun potansiyel kirlenmesi gibi büyük çevresel sorun yaratması sonucunda oluşturabileceği durumları araştırmıştır.

Sarı vd. (2008), Orta Toroslar bölgesinde Akkuyu Formasyonu, geç Jura zamanında dünya ölçeğinde global deniz yükselmelerinin olduğu bir devirde, bu zaman dilimi içerisinde gelişen anoksik olaylar neticesinde meydana gelen kaynak kayadır ve organik maddece zengin bu formasyonun denizel karbonatlardan oluştuğunu belirtmişlerdir. Kaynak kaya potansiyeline sahip olan kireçtaşlarında organik madde miktarı 0,3 iken, Üst Jura Akkuyu Formasyonundaki bu değer ortalama 1,92 olmakta ve 6,4 kez daha fazla organik maddeye sahip olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Bu çalışmada kayaçlardaki organik madde zenginleşmesiyle elementler arasında çok açık bir ilişkinin var olduğu belirlenmiş olup, element zenginleşmeleriyle kayaçların litolojisi arasında doğrudan bir ilişkinin bulunmadığını belirtmişlerdir. U, Ba, Cu, Ni, Cr, As, V, Zn, Sb, Co, Mo ve Cd elementleri organik maddece zengin, Üst Jura yaşlı Akkuyu Formasyonuna ait karbonat kayaç örneklerinde, organik maddece zengin şeyl örneklerine kıyasla daha fazla biriktiği tespit edilmiştir.

Demir (2009), Türkiye'deki kömürlerin ve küllerin içerisindeki iz elementleri incelemiştir. Çalışmada Türkiye'de çeşitli bölgelerde yer alan kömürlü birimler ve termik santral kül numuneleri kullanılmış ve bu numuneler üzerinde ısı değer, nem, kül, yoğunluk, uçucu miktarı, toplam karbon, toplam kükürt, eser element ve iz element analizleri yapılmıştır. Muğla-Yatağan, Manisa-Soma gibi belirli bölgelerdeki kömürlü

birimler için yüzdürme batırma ve flotasyon deneyleri yapılmış ve kömürlü ve küllü birimlerin önemli esas elementlerini Si, Al, Fe, Ti, Na, Ca, Mg ve K'un oluşturduğu saptanmıştır. Uygulanan deneyler sonucuna göre iz element içeriği değerleri dünya standartlarını aştığı için potansiyel hava kirletici olarak belirlenmiştir.

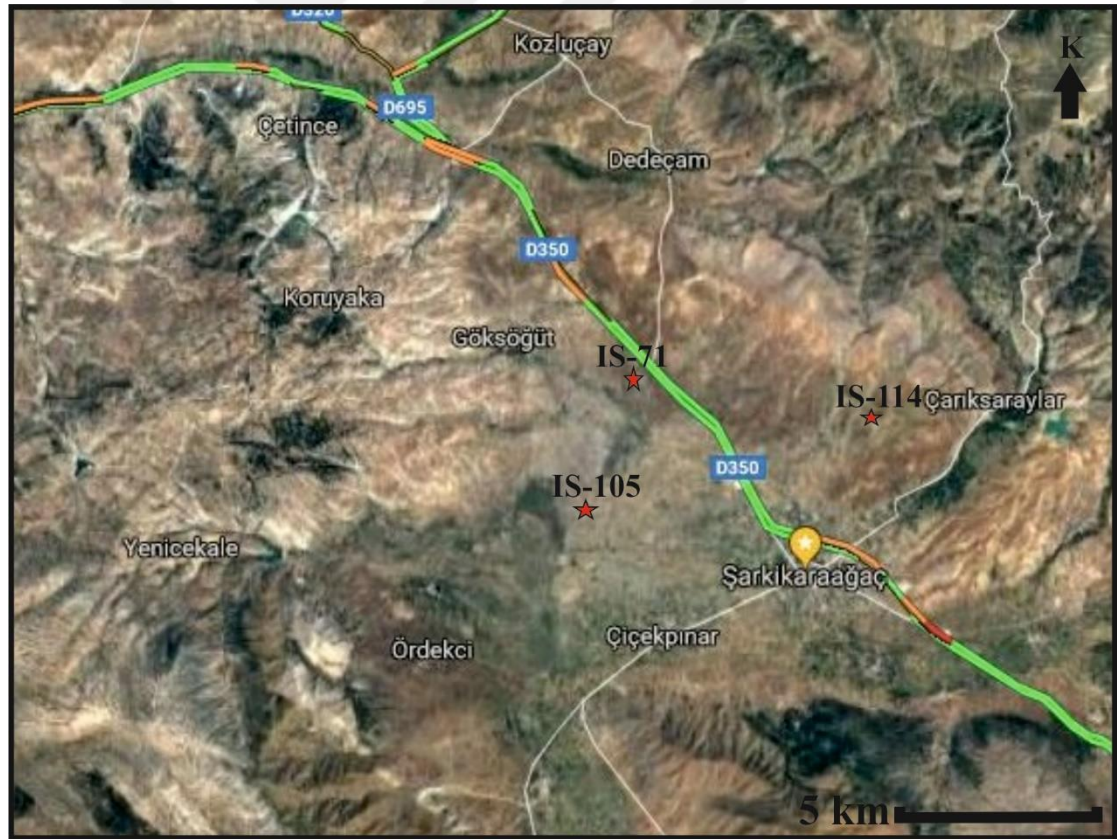
Koca vd. (2010), Orta Toroslar'ın Antalya kesiminde yüzlek veren Üst Jura yaşlı Akkuyu Formasyonu kireçtaşı litolojisinde olan ve bu birimlerde kireçtaşları için potansiyel kaynak kaya olma belirtilerinden olan Corg değeri %1.92 wt'dir. Organik maddece zengin kireçtaşı örneklerinde 9 adet ana element ile 38 adet iz element incelemesi yapılmış ve elde edilen ana-iz elementler anoksik/öksinik koşullarda depolanmış olan Peru Kıyusal Şelfi Sedimanları, Namibya (Afrika) Kıyusal Şelfi Sedimanları, Akdeniz Sapropelleri, Karadeniz Sapropelleri, Senomaniyen/Turoniyen Demerara Yükselimi Anoksik Sedimanları ile Senomaniyen/Turoniyen Gubbio Anoksik Sedimanları yanında ortalama karbonat kayalar ve şeyllere ait ana ve iz element ortalama bollukları ile kıyaslanmıştır. Akkuyu Formasyonunda en önemli zenginleşmeler Rb, U, Ba, Cu, Ni, Cr, As, V, Zn, Sb, Co, Mo, Cd elementlerinde olduğunu saptamıştır. Akkuyu Formasyonuna ait ana elementlerden Na, Ti, K, P, Si, Fe ve Mg'un zenginleşme aralıkları en küçük 0.003 ve en yüksek 1.70 arasında değişmekte olup, Upwelling sedimanları, Sapropeller ve Senomaniyen/Turoniyen (C/T) siyah şeyl örneklerinin zenginleşme aralıklarından daha küçük olduğunu ifade etmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Çalışma alanı Isparta ili Şarkikaraağaç ilçesinde yer alan kömür/kömürlü birimler üzerinde, arazi çalışması ve laboratuvar çalışması olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

3.1. Arazi Çalışmaları

Çalışma havzası Isparta ilinin Şarkikaraağaç ilçesinde yer almaktadır. Bölgeye gidilerek var olan ortam koşulları, jeolojik yapıları ve birimler incelenmiş ve arazi jeomorfolojik olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca bu alan bitki örtüsünün uygun bulunduğu yerlerde stratigrafik olarak da incelenmiştir. Bu inceleme aşamasında, literatür taramasında dikkate alınarak, bölgenin genel stratigrafik dizilimini görebilmek için arazi çalışmalarından ve stamlardan yararlanılmıştır. Çalışma alanındaki kömürlü birimlerin rezerv ve yayılımını incelemek amacı ile açılan 71'nolu kuyudan 14 adet, 105'nolu kuyudan 11 adet ve 114'nolu kuyudan 10 adet karot örneği, kömürlü birimlerin tavan-taban ilişkisi dikkate alınarak, yeterli miktarda ve amaca uygun olarak alınıp, poşetlenerek laboratuvara götürülmek üzere hazır hale getirilmiştir. Örneklerin alındığı sondaj kuyularının konumları Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanında örnekleme yapılan kuyuların konumları

3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma alanından alınan örnekler düzenlenerek seçilmiş ve birkaç analize tabi tutulduktan sonra, belirli oranlarda tartma işlemi yapılarak hazırlanan kömür ve kül örnekleri, bu işlemlerin gerçekleşmesi için ilgili merkezlere gönderilmiştir. Yapılacak olan çalışmalar ve gönderildiği kurumlar sırasıyla şu şekilde ifade edilebilir; kömürde ve külde, örnek hazırlama işlemleri Akdeniz Üniversitesi jeoloji Mühendisliği Jeokimya Laboratuvarında (Antalya), XRD tüm kaya ve kil analizleri Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Araştırma Grubu Laboratuvarlarında (Ankara) ve Majör (ana)-iz element konsantrasyon değerlerinin belirlenebilmesi için gerçekleştirilen ICP-MS analizi, ACME laboratuvarında (Kanada) yapılmıştır.

3.2.1. Jeokimyasal yöntemler

3.2.1.1. XRD tüm kaya ve kil analizi

Havzadaki kömürlü birimlerin mineralojik bileşimini tespit etmek için, kömür/kömürlü ve killi kayaç örnekleri tavan, taban, ara kesme kayaçlarından derlenmiş, hazırlanan bu örnekler XRD tüm kaya kil analizi uygulanmıştır. XRD, optik mikroskop yöntemleri ile belirlenemeyecek kadar küçük tane boyutuna sahip minerallerin kristal yapı özelliklerine göre tanımlanmasında kullanılan bir tekniktir. Laboratuvarında çalışılacak olan örnekler öğütücü ve havan kullanılarak toz haline getirilmiş ve 200 ağırlıklı elekte eleme işlemi yapılarak yaklaşık olarak 25 gr ağırlığında hazırlanmış numunelere XRD analizi uygulanmıştır. Standart XRD analizleri ile tanımlanmaları mümkün olmayan kil grubu mineralleri için zenginleştirme işlemi uygulanarak kalitatif XRD detay kil analizleri yapılmak üzere 50'şer gr olacak şekilde örnekler hazırlanmış ve laboratuvara gönderilmiştir.

Numuneler, halkalı öğütücüde öğütülmüş ve temsil edici şekilde örneklenerek XRD tümkaya analizleri yapılmıştır. XRD tümkaya analizlerinin ardından örnekler öncelikle karbonatlardan arındırılmış ve sonrasında kil plaketi hazırlanarak oda sıcaklığında kurutulmuş, etilen glikol buharı ile doyurulmuş (60°C'de 8 saat) ve fırınlanmış (550°C'de 2,5 saat) olarak üç farklı XRD kil mineral analizine tabi tutulmuştur.

Elde edilen XRD difraktogramları, difraktometre'ye bağlı olan bilgisayarda bulunan Jade 7.0 programında ve ICCD (International Centre for Diffraction Data)'nin ICSD (Inorganic Crystal Structure Database)'sine göre değerlendirilmiştir. Bunun için, analiz sonucunda elde edilen difraktogramlardaki XRD desenlerinde, difraktometreye bağlı bilgisayardaki Jade 7.0 yazılımında profil bazlı eşleştirmeler ve "Easy Quant" programındaki referans şiddet oranları (RIR değerleri) dikkate alınmıştır. Böylelikle örnekleri oluşturan ve XRD analizleri ile cihazın algılama sınırları içerisinde algılanabilen tüm kaya ve kil mineralleri, tür ve bağıl bolluk olarak, (k=2 için) 0.01 genişletilmiş belirsizlik oranı (%) ile belirlenmiştir.

3.2.1.2. Majör-iz element analizi

Endüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometrisi (ICP-MS), örneklerin yüksek sıcaklıktaki bir plazmaya, genellikle argon gönderilerek moleküler bağların kırıldığı ve

atomların iyonlaştırıldığı bir analitik tekniktir. ICP-MS çok hızlı bir şekilde farklı kütleleri ölçebildiği için, çoklu element ölçüm cihazı olarak düşünülebilir. Laboratuvarında uygun koşullarda ilk olarak, öğütücüde 40 sn ve 800 devirde öğütülerek, 200 açıklıklı elekte eleme işlemi yapıldıktan sonra yaklaşık 10 gram olacak şekilde hazırlanan 41 tane kömür örneği, majör (ana) ve iz element analizleri yapılmak üzere ACME Analitik Laboratuvarına (Kanada) gönderilmiştir. Bu analizde elektromanyetik indüksiyonla 10,000 °K sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından örneğin iyonize edilmesi; iyonize elementlerin kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılması ve element derişimlerinin elektron çoklayıcı bir dedektör tarafından ölçülmesi aşamalarını içermektedir. Örnekteki tüm elementlerin derişimleri 1 ile 2 dakika arasında oldukça kısa bir süreye tabii tutulmaktadır.

Majör oksitlerinin (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , Cr_2O_3) ve birkaç elementin (Ni ve Sc) toplam miktarları, 0,5 gr olarak hazırlanmış örneklere, ICP-AES (Inductively Coupled Plasma–Atomic Emission Spectrometry) yönteminde yer alan LiBO_2 füzyon ve seyreltilmiş nitrik asit işlemi tabii tutulması sonucunda belirlenmiştir. Ateş kaybı (AK) 1000 °C’de örneğin yakılmasından sonraki ağırlık farkıdır. Standart olarak SO-18/CSB kullanılmıştır.

3.2.1.3. Kül tayini analizi

Çalışma alanındaki kömürlü birimlerin yakılması sonucu elde edilen küllerde, öncelikle halkalı öğütücü yardımı ile kömür ve kayaç numuneleri öğütülmüş, daha sonra 200 açıklıklı elekten geçirilerek elde edilen örnekler, hassas terazide 1’er gram olacak şekilde tartılmış ve sabit tartımı alınmış krozelerin içerisine koyularak, 750 °C’de ısıtılmış fırın içerisinde 4 saat yakma işlemine tabii tutulmuştur.

Bu örneklerde, öğütme, eleme ve yakma işlemi tamamlandıktan sonra, 10 adet kül numunesi, desikatörde soğutularak, kül miktarı hesaplanmıştır. Bu aşamalar sonucunda elde edilen kül numuneleri, küldeki iz element tespiti için, ACME Laboratuvarına (Kanada) gönderilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

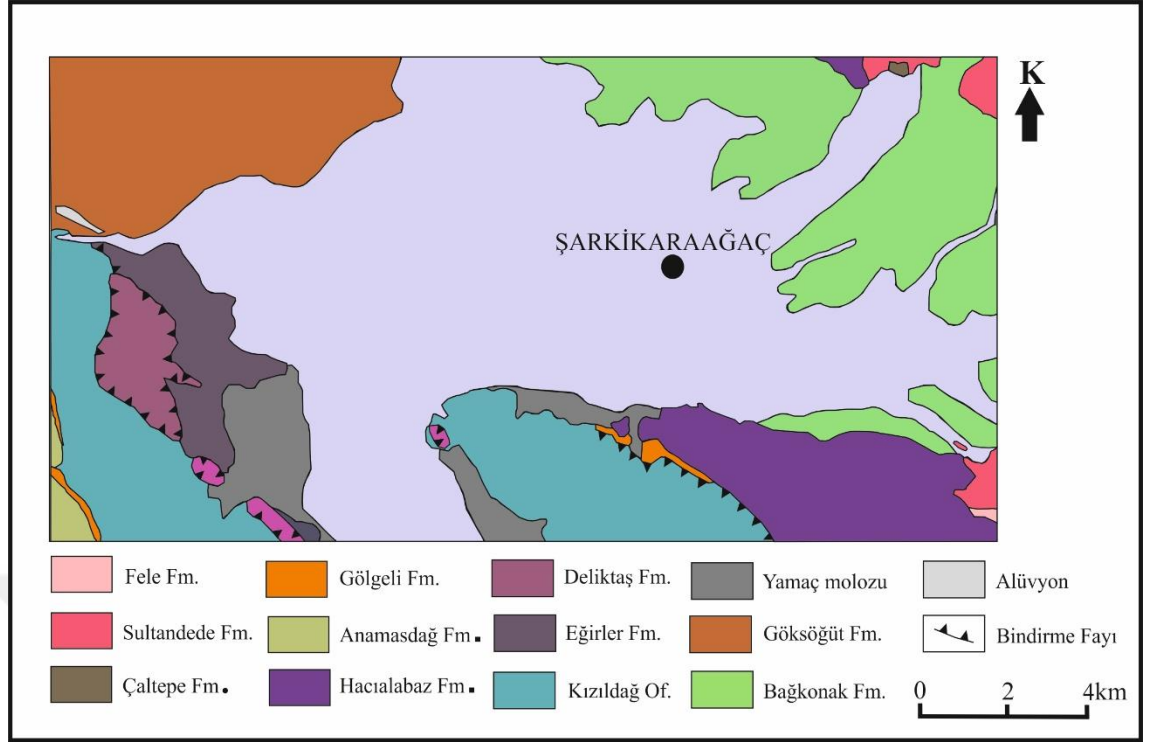
4.1. Bölgenin Jeolojik Evrimi

Alt-Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe Formasyonu bölgenin en yaşlı birimidir. Diğer çalışmalarda rastlanılan trilobit, krinoid, ekinoid gibi paleontolojik veriler (Dean ve Monod 1980; Özül ve Gedik 1973; Dean ve Özgül 1979; Eren 1990; Şenel vd. 1996) doğrultusunda yaşı belirlenen birimin Erken-Orta Kambriyen'de organizma hayatına elverişli sıcak ve ışık şartlarının iyi olduğu, sığ ve berrak bir denizel ortamda çökeldiğini göstermektedir.

Çaltepe Formasyonu üzerine ince kırtıntılı sedimanlardan oluşan Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen yaşlı Seydişehir Formasyonu gelmektedir. Havza derinleştikçe malzeme boyutu küçülmüş ve formasyon içindeki kireçtaşı mercekleri ise bu sırada oluşmuştur. Seydişehir Formasyonu'nu temsil eden litoloji genel olarak duraysız şelf ve kısmen şelf ilerisi bir ortamı işaret etmektedir (Demirkol vd. 1977). Geç Kambriyen-Ordovisiyen denizinde çökelen Çaltepe Formasyonu; kristalize kireçtaşları, Seydişehir Formasyonu ise metakumtaşı, kuvarsit, fillit ve klorit-serizit-kuvarsit şistleri oluşturmuştur.

Seydişehir Formasyonu birimleri üzerine, Üst jura yaşlı dolomit, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan Mezardere Formasyonu gelmiştir. Bölge Geç Jura'ya kadar stratigrafik bir boşlukta olup çökeltme olmadan aşınmaya devam etmiştir. Geç Jura'da aşınma sonrasında, ortam, denizin ilerlemesi ile su altında kalarak tekrar çökeltme dönemine başlamış ve bu ortama ait birimler olan dolomit, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşları meydana gelmiştir. Bölgede bulunan kırık sitemlerinden yukarı çıkan levha içi akıntıları yüzeyde geniş volkanit (bazalt-dolerit) örtüleri oluşturmaktadır. Bölgede bu dönemde tropik iklim hakim olduğu için bol yağış olması litarileşme için uygun şartları sağlamaktadır. Geç Jura dönemi bu etkenler sonucunda tekrar denizel ortam haline gelmiş ve volkanitler üzerine çökeltme başlayarak Geç Jura-Geç Kretase yaşlı Akkaşsırtı kireçtaşlarını oluşturmuştur.

Bölge Geç Kretase'nin sonunda Alpin orojenik hareketleri sonucu yükselerek karasallaşmaya başladığı ve Miyosen dönemine kadar çökeltmenin olmadığı stratigrafik bir boşlukdan dolayı, aşınma alanı olarak kaldığı düşünülmektedir. Miyosen döneminde ortam tamamen kara haline gelerek yükselme ile düşük röliyeftli alanlarda kil, silt, kum ve çakıl çökeltimi oluşmuştur. Çökellerin gölsel ortama taşınması ile yer yer orta kalın tabakalanmalı olan ve Pliyosen'e kadar çökeltimini sürdüren Bağkonak Formasyonu meydana gelmiştir. Neojen sonuna doğru bölgede akarsular ve dereler oluşmuş ve bu dereler içerisinde alüvyon çökeltimleri meydana gelmiştir. Bölge bu zamanki şeklini Neojen sonunda almış ve bölgede halen çeşitli erime, ayrışma, taşınma ve birikme ile alüvyon oluşumları devam etmektedir.



Şekil 4.1. Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası (Cengiz ve Kuşcu 1993; Elitok 2000; Kuşcu ve Aydoğan 2003; Örmeci 2005; Kanbur 2006'dan değiştirilerek alınmıştır)

4.2. Stratigrafi

Bölgesel açıdan önemli bir yapı olarak kabul edilen Isparta Büklümü veya Isparta Açısı, Neojen öncesi tektonizmanın ürettiği ve birbirlerini keser konumdaki KD ve KB gidişli makaslama fayları ile biçimlenmiştir. Çalışma alanında yer alan kaya birimleri; özellikleri ve birbirleri ile olan ilişkileri göz önünde bulundurularak allokton ve otokton olmak üzere iki grupta incelenmiştir. Otokton birimler; Sultandağ kesiminde Çaltepe Formasyonu, Sultandede Formasyonu, Fele Formasyonu, Hacıalabaz kireçtaşı, Bağkonak Formasyonu, Anamasdağ kesiminde ise Anamasdağ Formasyonu, Gölge Formasyonu, Göksöğüt Formasyonu, yamaç molozu ve alüvyon'dur. Allokton birimler; Kızıldağ ofiyolitleri, Eğirler Formasyonu ve Deliktaş Formasyonudur.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENEZOYİK	KUVATERNER		ALÜVYON		Gevşek tuturulmuş, tutturulmamış kil,kum, çakıl
			YAMAÇ MOLOZU		
	NEOJEN	PLİYOSEN	GÖKSÖĞÜT FORMASYONU		Beyaz, kirli beyaz plaketli kireçtaşı Beyaz, sarımsı beyaz, sarımsı yeşil, kahverengi kaba taneli kumtaşı, kiltası, silttaşı, kömür, marn Travertenimsi karbonatlar
			BAĞKONAK FORMASYONU		Gevşek tuturulmuş kumtaşı, kiltası, marn
		MİYOSEN			
	PALEOJEN	ÜST	DELİKTAŞ FORMASYONU		Bol kırıklı çatlaklı, erime boşluklu masif yapıli rekristalize kireçtaşı
			EĞİRLER FORMASYONU		Çeşitli boyutlarda serpantinit, volkanit, ince tabakalı radyolarit-çört, kireçtaşı, kumtaşı, kiltası, çamurtaşı blokları
			KIZILDAĞ OFİYOLİTİ		Yeşil, koyu yeşil, siyah renkli serpantinit, amfibolit, harzburjit, dunit, kuvarsit gibi kaya blokları içeren peridotit
		ORTA	GÖLGELİ FORMASYONU		Yeşil, kahve, sarı, açık kahve, koyu gri renkli kumtaşı, kiltası, silttaşı, kumlu kireçtaşı
			ANAMASDAĞ FORMASYONU		Gri, krem renkli yer yer orta katmanlı dolomitik kireçtaşı
		PALEOSEN			
MESOZOYİK	KRETASE		HACIALABAZ FORMASYONU		Yer yer dolomit ve boksit düzeyli dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşı
	JURA	DOĞGER ÜST LİVAS			Kahverengi yeşil, bordo renkli kumtaşı
	TRİYAS	ORTA	FELE FORMASYONU		Sert rekristalize kireçtaşı Kırmızı kahve kuvarsit, kuvarsit çakılları
PALEOZOYİK	ORDOVİSİYEN	ALT	SULTANDEDE FORMASYONU		Kuvarsit ve rekristalize kireçtaşı arakatlı metasilttaşı, metakiltası, metakumtaşı
	KAMBRİYEN	ALT-ORTA	ÇALTEPE FORMASYONU		Kırmızı kahve renkli kil arakatlı kireçtaşı Dolomit, dolomitik rekristalize kireçtaşı

ÖLÇEKSİZ

Şekil 4.2. Çalışma alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Örmeci 2005'den değiştirilerek hazırlanmıştır)

4.2.1. Otokton birimler

4.2.1.1. Çaltepe formasyonu

Bu birim, dolomit ve dolomitik rekristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Dean ve Monod (1970) tarafından Seydişehir yöresinde Çaltepe Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Haude (1972), Demirkol (1977), Öztürk vd. (1981, 1987) birim içerisinde yumrulu kireçtaşı üyesini ayırmışlardır. Birim oldukça kırıklı ve çatlaklı yapıya sahiptir ve pembe, gri ve krem renkli, yer yer yumrulu, kristalize ve dolomitik kireçtaşları ile dolomitlerden oluşmaktadır.

Çarıkсарайlar kuzeyi, Arslan Doğmuş-Köprükoy kuzeyinde (Kızılyumru tepe, Kızıl tepe) Feleboğazı kuzeyi (Ara tepe, Kızıltepe, Oyuktepe, Korutepe), Kızıllık tepe, Ardıçlı tepe, Küçük ve Büyükekiz tepe, Çarıkсарайlar kuzeyinde bulunan Dikmen Tepe’de yüzeylenmektedir. Koru Tepe’deki koyu gri renkli dolomit seviyeleri ile başlayan birim üste doğru lamine gri, beyaz renkli orta kalın katmanlı kalsit damarlı, sert sıkı dokulu kireçtaşları ile devam etmektedir (Kıran 2004).

Bol çatlaklı yapıya sahip olan dolomitler bölgesel tektonizmanın etkisiyle gelişmiş olup kuvars damarlı, iri kristalli ve opak mineraller içeren yapıya sahiptir.

Dean ve Monod (1970), buldukları Trilobit ve Graptolit fosillerine dayanarak birime Alt-Orta Kambriyen yaşını vermişlerdir. Bu birimin yaşı yapılan birçok destekleyici çalışma sonucu Alt-Orta Kambriyen olarak belirlenmiştir. Çaltepe Formasyonu, organizma hayatına elverişli sıcak, sık ve berrak denizel bir ortamı temsil etmektedir (Öncel 1995).

4.2.1.2. Sultandede formasyonu

İlk kez Blumenthal (1947) tarafından Seydişehir dolaylarında "Seydişehir şistleri", daha sonra Dean ve Monod (1970) tarafından "Seydişehir Formasyonu", Brunn vd. (1971) tarafından "Seydişehir şeylleri", Erişen (1972) tarafından "Sultandede Yeşilşist Formasyonu", Demirkol vd. (1977) tarafından "Sultandede Formasyonu" olarak bir çok isimde adlanmış ve en son "Sultandede Formasyonu" olarak adlandırılmıştır.

Birim başlıca yeşil, mor, kahve renkli metakumtaşı, metasilttaşı, fillit ile kuvarsit ve rekristalize kireçtaşı arakatkılarından oluşmaktadır (Elitok 2000). Meta-sedimanter kayalar, pembemsi, morumsu, bejimsi, sarımsı, yeşilimsi ve koyu grimsi arasında değişen ince-düzgün yayımlı sleyt ve şistlerden meydana gelmektedir.

Birim içinde ilksel konumlu barit, pirit, hematit, limonit ve kalsit seviyeleri, ikincil olarak metamorfizma ürünü olan süt kuvars damarları yaygın olarak yüzeylenmektedir.

Birimin tektonizmadan yoğun bir şekilde etkilenmesi sebebiyle, özellikle alt dokanak ilişkileri kaybolmuştur. Bu nedenle birimin kalınlığı hakkında kesin bir şey söylemek mümkün olmamaktadır (Elitok 2000). Yeşil şist metamorfizması altında düşük dereceli bir metamorfizma geçirmiştir (Frey 1970).

Fele Tepe doğusunda, Kuru Tepe, Kızıl Tepe, Kara Tepe doğu ve batı kesimlerinde, Soyalı Sırtı, Kara Tepe güney ve kuzey kesimlerinde, Köprüköy kuzeyinde, Arslandoğmuş doğusunda, Kızılyumru Tepe doğu ve batı kesimlerinde ve Çarıkсарaylar kuzeyinde yüzeylenmektedir.

Özgül vd. (1991), formasyonun değişik kesimlerinde Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen'i temsil eden Trilobit ve Akritarklar gözlemlemiştir. Demirkol (1977), Yalvaç-Akşehir dolayında birimin Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen yaşında olduğunu gösteren fosiller bulmuştur. Öztürk vd. (1981), Kiyakdede batısı ve Göztepe Dağı güney doğusundan alınan örneklerde Cephalopoda (Orthoceras ?) ve Gastropoda, Trilobite Pygidium, iç kalıpları gözlemlemiş, buradan da birimin yaşının Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen olduğunu belirtmiştir. Monod (1967), Dean ve Monod (1970) ve Özgül ve Gedik (1973), yine birimin yaşını Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen olarak belirlemişlerdir (Elitok 2000; Cengiz 1997). Bütün bu veriler ışığında birimin yaşı Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen olarak kabul edilmiştir.

Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen yaşlı metamorfikler ile temsil edilen Sultandede Formasyonu üzerine, Mesozoyik Liyas-Dogger yaşlı Hacılabaz kireçtaşları uyumsuz olarak gelmektedir. Feletepe doğu yamacında alt kesimlerde Orta Triyas yaşlı Fele Formasyonu bulunmaktadır. Bu birim üzerinde Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen yaşlı Sultandede Formasyonu ve bunun üzerinde de Alt-Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe Formasyonu ters fayla yer almaktadır (Örmeci 2005).

Sultandede Formasyonu, çökelme ortamı olarak; duraysız, çoğunlukla şelf ilerisi ortam şartlarını yansıtmaktadır.

4.2.1.3. Fele formasyonu

Birim ilk defa Öztürk ve diğ. (1981) tarafından adlandırılarak çakıltası, kumtaşı ve kireçtaşı üyelerine ayrılmıştır. Ayrıca Ayhan ve Karadağ (1985) formasyonu, kireçtaşı düzeyleri içeren marn ve konglomera olmak üzere iki grupta incelenmişlerdir. Elitok (2000) yörede yapmış olduğu çalışmada aynı adlama ve sınıflamaları kullanmıştır.

Fele Formasyonu bordo, kırmızı, kahve, yeşilimsi gri çakıltası, kırmızı bordo, koyu yeşil, kahverengi kumtaşı, gri, siyahımsı gri mercek konumlu kireçtaşlarından oluşmuştur.

Birim Feletepe doğu yamacında tam olarak yüzeylenmektedir. Birimin yanal yönde kalınlığı değişkendir. Feletepe doğusunda Seydişehir Formasyonu içerisinde tektonik dilim şeklinde yer almaktadır (Ünsal 2010).

Fele Formasyonu Sultandede şistleri ve Çaltepe kireçtaşları üzerinde uyumsuz olarak yerleşmekte ve üstte Hacılabaz kireçtaşları ile yine uyumsuz olarak gözlenmektedir. Birimin yaşı çeşitli araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalardan elde etmiş oldukları bulgulara dayanarak Üst Liyas-Alt Dogger olarak kabul edilmiştir (Haude 1972; Monod 1977; Öztürk vd. 1981).

4.2.1.4. Hacılabaz formasyonu

Bu formasyon Çarıksaraylar'ın kuzeybatısından Dedeçam'a kadar kesintisiz olarak devam etmekte ve yaklaşık olarak 13 km²'lik bir alan kaplamaktadır. Formasyon, Demirkol'a (1977) göre en iyi gözlemlendiği Hacılabaz dağından almıştır adını. Bu birimler Sultandede Formasyonu'nu uyumsuz olarak üstlemektedir (Demirkol ve Yetiş 1985).

Litolojik birimleri kireçtaşları ve dolomitlerdir. Dolomit seviyelerinin en fazla gözlemlendiği yerler Kışla Tepe ve Kale Tepe dolaylarıdır. Dolomitler koyu gri renkli ve düzensiz tabakalıdır. Tabakalar; orta kalın katmanlı, katman kalınlıkları 10-100 cm arasındadır. Yer yer kırık ve çatlaklı olan birimin, çatlak aralıkları 5 ile 30 cm arasında ve içleri kalsit dolguludur. Birimin tabanında dolomit ve dolomitik kireçtaşları, dolomitler üzerinde volkanit düzeyli boksit seviyesi ve bunlar üzerinde de yer yer boksit düzeyli dolomit arakatlı kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşları yer almaktadır (Elitok 2000).

Formasyon bölgesel tektonizmadan oldukça etkilenmiş, çatlak, kırık ve çeşitli süreksizlik düzlemleri gelişmiştir. Bu süreksizlik düzlemleri nedeniye oldukça kırılğan ve dağılğan yapı kazanmıştır. Dolomitik kireçtaşları, dolomitlerin üzerine derecelenmesiz, fakat uyumlu bir şekilde gelmiştir.

Dolomitik kireçtaşları koyu grimsi kahverengi tonlarda, mikritik dokulu, köşeli kırıklı, eklemli, sert ve orta kalın katmanlıdır. Dolerit ile dolomitik kireçtaşları ve dolomitlerin dokanağı çoğu yerde faylıdır. Dolerit ve bunlardan oluşan silisce zengin demir cevherleri, bu fay hattı boyunca ortaya çıkmıştır (Kıran 2004).

Bu kireçtaşları dolomit ara tabakalı, gri ve orta kalın katmanlı kalsit damarlı, sıkı tutturulmuş, sert dokuya sahip ve bol miktarda fosil içermektedir. Bu formasyonda, içerisinde bulunan *Kursina Furassica*, *Clypeina jurassica*, *Kurnalina sp.*, *Textularia sp.*, *Valvulina sp.* ve *Planderina sp.* fosillerine göre, formasyonun yaşının Orta-Üst Jura olduğu tespit edilmiştir (Demirkol ve Yetiş 1985).

Bu formasyondaki kireçtaşlarında da karstik yapılara rastlanılmaktadır. Bu birimlerdeki karstlaşma ilerlemiş, dolin, erime hunisi, mağara gibi karstik yapı şekilleri gelişmiştir. Hacılabaz Formasyonu kalınlığı yaklaşık olarak 280 m dolaylarındadır (Kıran 2004).

4.2.1.5. Bağkonak formasyonu

Birim adını, Demirkol vd. (1977) tarafından tipik olarak gözlemlendiği yer olan Bağkonak mevkiinden almıştır. Bağkonak Formasyonu; kırmızı, sarı, bej, açık yeşil, sarımsı kahve, grimsi, sarımsı ve krem-bej renkli; tutturulmuş kumtaşı, kilaşı, kaba çakıltaşı yer yer üst kesimlerinde ince katmanlar şeklinde travertenimsi poroz yapıli karbonatlar, karbonat çimentolu çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşından oluşmaktadır. Birimin ana bileşenini oluşturan çakıltaşları, orta ile iyi pekişmiş, kötü boylanmalı ve tane desteklidir. Taneler, egemen olarak kireçtaşı, metakumtaşı, sleyt ve fillit bileşenlerinden oluşmaktadır. Kilaşları ise yanal olarak çamurtaşı mercceklerine geçiş gösterebilmektedir. Formasyon genellikle yataya yakın tabakalanmalıdır. Bu özelliği ile

diğer birimlerden kolayca ayırt edilebilmektedirler. Bu birimler karasal oksidasyondan etkilenmişlerdir. Bu formasyondaki birimlerde oygu ve dolgu yapıları bulunmakta ve orta-kalın katmanlanma görülmektedir.

Bağkonak Formasyonu inceleme alanı içerisinde başlıca, bölgenin kuzeydoğusunda Çaltı köyü, İçme Tepe, Koru Tepe, Aşağıdinek, Köprüköy batısı, Başdeğirmen, Çarıkсарайlar, Gümüşoluk doğu ve batı kesimleri, Zenger Sırtı, Uluyol civarlarında görülmektedir (Örmeci 2005).

Bu formasyon Çatakbaşı, Tülüce Tepe kuzeyinde, Hacılabaz kireçtaşları üzerinde; İçme Tepe civarında, Kara Tepe kuzeyinde, Yukarıdinek civarlarında ve Aşağıdinek doğusunda Sultandede şistleri üzerinde, Çarıkсарайlar kuzeyinde Sultandede şistleri, Çaltepe kireçtaşları, Hacılabaz kireçtaşları üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır (Örmeci 2005). Formasyonun egemen litolojik yapısı ve yanal yöndeki stratigrafi özellikleri, bu birimi oluşturan kırıntılı tortulların, gölsey oluşuklarla girik olan alüvyonal yelpaze ortamında çökelmiş olabileceğini yansıtmaktadır.

Senozoyik başlarında yükselmeye başlayan bölgenin Miyosen döneminde kara haline gelmesiyle birlikte, havzaya yağışlarla malzeme taşınmaya başlamış, enerjinin bittiği ve azaldığı yerlerde değişik boyutlu malzemelerin depolanması sonucunda Bağkonak Formasyonu meydana gelmiştir (Bozkır 2007).

Birime ait çakıltaşları içinde herhangi bir fosil kalıntısı bulunamamıştır. Ancak, çakıltaşlarıyla girik olan marn ve kilaşları içinde yaygın olarak Planorbis sp. ve Limnea sp. gibi gastropodların yanı sıra, yaprak izleri bulunmaktadır (Yağmurlu 1991). Öncel (1995) birimin yaşını; çalışma alanı dışındaki Yarıkkaya Formasyonu ile olan ilişkisini dikkate alarak Miyosen olarak düşünmüştür.

4.2.1.6. Anamasdağ formasyonu

Bu birim Orta Torosların Anamasdağ kesiminde yüzeylenmektedir. Dumont ve Kerey (1975) tarafından Anamas-Akseki birliği, Özgül (1976) tarafından Geyikdağı birliği, Öztürk vd. (1981) tarafından Anamasdağ Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada da Anamasdağ Formasyonu ismi kullanılmıştır.

Anamasdağ Formasyonu genellikle inceleme sahasının güneyinde ve batı kesimlerinde Köprülü yaylası, Namazgah Tepe, Taşbaşı Tepe, Ballıktaş Tepe, Ardıc Tepe, Kasnaklı Tepe dolaylarında gözlemlenmektedir.

Bu formasyona ait Anamasdağ kireçtaşları bol kırık ve çatlaklı, yer yer dolomitik, kristalin dokulu, sert, kırılgan krem, bej renkli olarak temsil edilmektedir (Soyaslan 2004; Elitok 2000).

Anamasdağ Formasyonu, altta Fele Formasyonu ile uyumsuz, üstte ise Gölgeyi Formasyonu ile uyumlu olarak gözlenmektedir. Anamasdağ Formasyonu'nun yaşını Elitok (2000) yaptığı çalışmalarda Kretase-Alt Eosen olarak belirlemiştir.

4.2.1.7. Gölgele formasyonu

Gölgele mevki civarında, Uykutepeleri ve Taşbaşı Tepe doğu kesimlerinde gözlenmektedir. Öztürk vd. (1981) tarafından Gölgele Formasyonu olarak adlandırılan birim; yeşil, kahverengi, boz, sarı, gri, koyu gri, açık kahve kumtaşı, kıltaşı, silttaşı, kumlu kireçtaşıdan oluşmaktadır. Bu formasyon altta Anamasdağ Formasyonu ile uyumlu, üstte Kızıldağ ofiyolitleri tarafından bindirmeli olarak üzerlenmektedir.

Öztürk vd. (1981), birimin yaşını Gedikli güneyi ve kuzeyinde Alt Eosen üstü olarak bildirmiş, daha sonra Elitok (2000) yaptığı çalışma ve bulduğu paleontolojik verilerden birimin yaşını Orta Eosen olarak belirlemiştir. Buna göre birimin yaşı Orta Eosen olarak kabul edilmiştir.

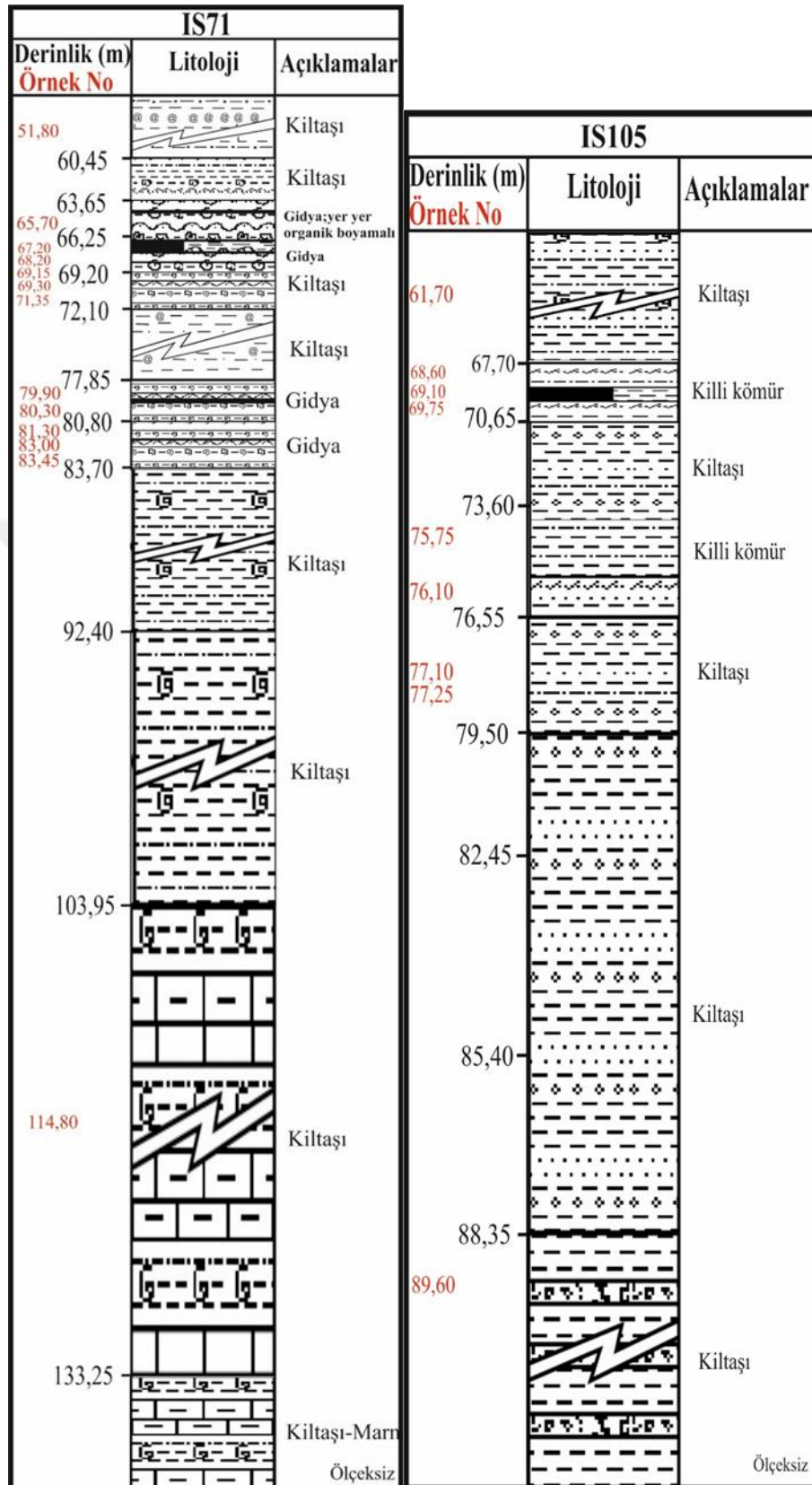
4.2.1.8. Göksöğüt formasyonu

Onikidönüm, Yenice kale, Kocabel sırtı, Bozoğlan sırtı, Tuğluk sırtı civarında gözlenen birim başlıca beyaz, sarımsı beyaz, sarımsı yeşil, kahve, yeşil gri yer yer kaba taneli kumtaşı, kıltaşı, silttaşı, kireçtaşı, çamurtaşı, marn aralanmasından oluşmaktadır (Örmeci 2005). Birim linyitli seviyeler içermektedir. İlk kez Demirkol (1986) tarafından adlandırılan birim, bu çalışmada da aynı isimle kullanılmıştır.

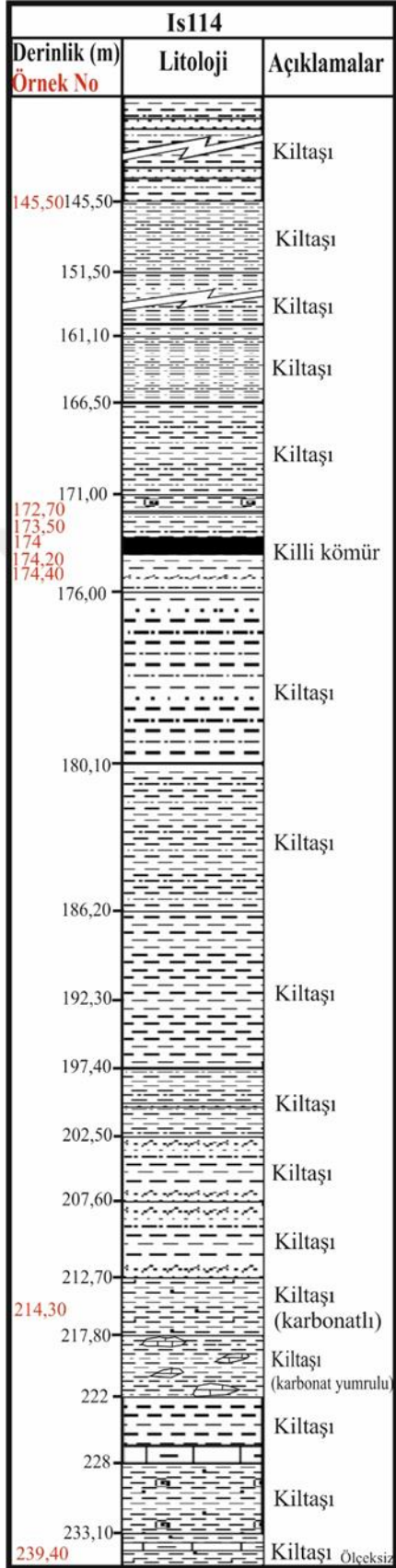
Göksöğüt Formasyonu, Bağkonak Formasyonu ile yanal geçişli olup altta Deliktaş Formasyonu'yla uyumsuz ve yine üstte alüvyonla uyumsuz bir dokanak ilişkisine sahiptir.

Göksöğüt Formasyonunun yaşını Yağmurlu (1991), birime ait kireçtaşları içinde *Limnea* sp. ve *Planorbis* sp. gibi tatlı su Gastropodlarının yaygın olarak bulunduğunu belirterek tespit etmiştir. Demirkol (1982), formasyon içerisinde *Lamellibranchia* ve *Gastropod* bulunduğunu fakat tanımlamasının yapılamadığını belirtmiştir. Bütün bu veriler ışığında birimin yaşı Üst Miyosen-Pliyosen olarak kabul edilmiştir.

Göksöğüt Formasyonu içerisinde ince-orta-kalın tabakalanmalar şeklinde, linyit ve linyitli birimler bulunmaktadır. Bu birimler yumuşak veya orta sertlikte kahverengi-siyah renklerde gözlenmiştir. Örneklerin alındığı kuyularda, kömürlü birimlerin tespit edildiği alanların dikme kesitleri çıkarılmış ve kullanılan örneklerin yerleri bu dikme kesitler üzerinde belirtilmiştir (Şekil 4.3-4.4).



Şekil 4.3. IS71 ve IS105no'lu sondaja ait dikme kesit



Şekil 4.4. IS114 no'lu sondaja ait dikme kesit

4.2.1.9. Alüvyon ve yamaç molozu

Alüvyon inceleme sahası içerisinde geniş bir alanı kaplamaktadır. Şarkikaraağaç'ında içinde yer aldığı ova içerisinde, allokton konumlu birimlerin arasındaki çukurluk alanlarda yer alan alüvyon incelemesi sonucunda, değişik kökenli kaya birimlerine ait gevşek tutturulmuş veya tutturulmamış killi, siltli kum, çakıl ve bloklardan oluştuğu sonucuna varılmıştır. Yamaç molozu özellikle Kızıldağ ofiyolitlerinin dokanakları boyunca ve çoğunlukla bu birimine ait kayaların değişik boyutlu ve farklı derecelerde yuvarlaklaşmış çakıllarından oluşmaktadır (Örmeci 2005). Büyük vadilerin ağız kesimlerinde yelpaze görünümü vermektedir. Bu birimlerin genel olarak yaşları, Neojen-Kuvaterner aralığı olarak tespit etmişlerdir.

4.2.2. Allokton birimler

4.2.2.1. Kızıldağ ofiyolitleri

Kızıldağ ofiyolitleri, Şarkikaraağaç güneyinde Kızıldağ, Kırmızı Tepe, Kızılyurt Tepe, Yel değirmeni Tepe, Kızıl Tepe, Öğlegediği Tepe, batı kesiminde Belceğiz güneyi, Kızılkale Tepe, Kızılsivri Tepe, Gölgei mevkii kuzeyinde gözlenmektedir.

Birim, Çapan (1980) tarafından Marmaris bölgesinde Marmaris Peridotiti, Şarkikaraağaç ve dolayında çalışma yapan Öztürk vd. (1981) tarafından Kızıldağ ofiyolitleri olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada da aynı isim kullanılmıştır.

Kızıldağ ofiyolitleri yeşil, koyu yeşil, siyah renkli kuvarsit gibi kaya birimlerinin üzerinde başlıca harzburjit ve dunitten meydana gelen peridotit napından oluşmaktadır (Örmeci 2005).

Havzadaki bu ofiyolitler, Kızıldağın doğu ve kuzeydoğu kesimlerinde Hacılabaz kireçtaşları ve Gölgei Formasyonu'yla bindirmeli olarak bulunmaktadır. Yine Kızıldağ ofiyolitleri Eğirler Formasyonu ile bindirmeli bir dokanak ilişkisine sahip olup Eğirler Formasyonu, Kızıldağ ofiyolitleri üzerine tektonik olarak yerleşmiş durumdadır. Kızıldağ ofiyolitlerinin yaşı Üst Eosen olarak belirlenmiştir (Elitok 2000).

4.2.2.2. Eğirler formasyonu

Sürtmeçiftliği batı kesimlerinde, Arpadere Tepe civarlarında, batıda ise Ardiç-Meşe, Tavşan Tepe, Kızılyokuş sırtı, Aşılık mevkii civarında gözlenmektedir. Formasyonun adlandırılması Öztürk vd. (1981) tarafından yapılmış olup bu çalışmada da Eğirler Formasyonu adı kullanılmıştır. Eğirler Formasyonu'nun egemen kaya türü yeşil, bordo renkli, karbonat çimentolu, değişik boyutlarda kireçtaşı ve bazik bloklar içeren volkanik arakatlı kumtaşlarıdır. Eğirler Formasyonu Aşılık mevkii batısında, ofiyolitler üzerinde tektonik olarak bulunmakta, doğuda ise alüvyon ve yamaç molozu ile uyumsuz olarak örtülmektedir. Bu formasyonu, üstte Deliktaş Formasyonu tektonik olarak üzerlemektedir (Örmeci 2005).

Birimin yaşı Öztürk vd. (1981) tarafından yaptıkları paleontolojik çalışmalardan elde ettikleri bulgulara göre, Senomoniyen (Üst Kretase) olarak tespit etmişlerdir.

Bununla birlikte bölgesel denestirme sonucu Paleosen'e değin çıkabileceğı düşünölmektedir (Elitok 2000; MTA 1987).

4.2.2.3. Deliktaş formasyonu

Sürtmedağı Tepe, Sürtmesivrisi Tepe, Arpadereşi Tepe, batıda ise Ardıç, Aylı Tepe, Ardıç-Meşe, Eşekçigediğı, Ağılkaya Tepe, Karaçalı Tepe, Tavşan Tepe, Akçalı Tepe, Çaltıkaya Tepe'de gözlenmektedir. Birim adını, Öztürk vd. (1981) tarafından Kızıldağ ofiyolitleri üzerinde yer alan rekristalize kireçtaşlarından almış ve bu çalışmada da bu adlama kullanılmıştır.

Deliktaş kireçtaşı; bej, beyaz, gri renkli, bol kırık çatlaklı, erime boşluklu, genellikle masif yapılı, kolay kırılğan ve dağılğan rekristalize kireçtaşlarından oluşmuştur. Deliktaş Formasyonu, Eğirler Formasyonu üzerine tektonik dokanakla yerleşmiştir. Çaltıkaya Tepe civarlarında ise alüvyonla örtölüdür. Birimin yaşı Öztürk vd. (1981) tarafından Üst Triyas olarak belirlenmiştir.

4.3. Yapısal Jeoloji

4.3.1. Uyumsuzluklar

Çalışma alanında iki çeşit uyumsuzluk yüzeyi yer almaktadır. Biri zamansal uyumsuzluk diğeri ise açısai uyumsuzluktur. Bu uyumsuzluklardan ilki Paleozoyik ile Mesozoyik zamanlı birimler arasında yer alan açısai uyumsuzluktur. Alt-Orta Kambriyen yaşı Çaltepe Formasyonu ve Üst Kambriyen yaşı Sultandede Formasyonundan oluşan Paleozoyik istif, Üst Juraya kadar karasai şartlarda kalmıştır. Daha sonra bölgede meydana gelen transgresyon nedeniyle yeni kırıntılı ve karbonatlı birimler çökelmıştır. Zamanla bu alanda çökeltme sonucunda Üst Jura-Üst Kretase yaşı Hacılabaz Formasyonu oluşmaktadır. Oluşan bu Hacılabaz birimi ile Paleozoyik yaşı birimler arasında açısai bir uyumsuzluk meydana gelmiştir. Diğeri bir uyumsuzluk ise Mesozoyik ile Senozoyik arasında Üst Kretase sonucunda meydana gelen, sedimantasyonu kesilen Hacılabaz Formasyonu üzerine Miyosen yaşı karasai, kırıntılı çökellerle temsil edilen Bağkonak Formasyonu gelmesiyle oluşmuştur (Öncel 1995). Bu bölgede oluşan birimlerin üzerine uyumsuzlukla Kuvarterner yaşı birimler gelmektedir (Ünsal 2010).

4.3.2. Faylar ve eklemler

Çalışma alanı bir çok tektonik olaylara maruz kalmıştır. Bu alandaki tektonik olaylardan neotektonik dönemde oluşan hareketler, geçmişte meydana gelmiş olan hareketleri ortadan kaldırmıştır. Bu nedenle bölgeye ait yapısal özellikler Neotektonik dönem ve Isparta Büklümünün oluşum mekanizmasıyla birlikte incelenmelidir (Elitok 2000). Çalışma alanında faylar genellikle bölgede bulunan kıvrım eksen doğrultularına paralel olarak bulunmaktadır. Fayların genel doğrultusu KB-GD, eğimleri ise 70-80° dir. Ayrıca ovada jeofizik yöntemlerle tespit edilen iki adet gömölü fay mevcut olup bunların arasında kalan (Çiçekpınar ve Şarkikaraağaç) saha bir çöküntü havzası halindedir (DSİ hidrojeolojik etüt raporu 1975). Bu alanının batı kesiminde Anamasdağ Formasyonu ile Kızıldağ Ofiyolitleri, Gölgei ve Göksöğüt Formasyonları dokanağında

yaklaşık KB-GD doğrultulu düşey fayın aktif bir fay olduğu ve ofiyolit yerleşiminden sonra oluştuğu düşünülmektedir (Elitok 2000).

Demirkol 1986'a göre Çaltepe kireçtaşları ile Sultandede Formasyonu Kaledoniyen orojenez fazından etkilenmiştir. Sultandede Formasyonu ile Çaltepe kireçtaşının dokanağı birçok yerde faylı bulunmaktadır. Çoğunlukta düşeye yakın ters faylıdır. Güney bloklar yükselmiş ve farklı yaşta olan Sultandede Formasyonu ile Çaltepe kireçtaşı aynı düzeye gelmiştir (Demirkol 1986). Düşey fay, inceleme alanının batı kesiminde, Anamasdağ Formasyonu ile Kızıldağ ofiyolitlerinin, ayrıca Gölge ve Göksöğüt Formasyonu ile olan dokanak boyuncada yaklaşık olarak KB-GD doğrultulu olarak oluştuğu düşünülmüştür (Örmeci 2005).

Şarkikaraağaç güneydoğusunda Hacılabaz Formasyonu içerisinde Kayrancı Tepe civarında yaklaşık KB-GD doğrultulu normal faylar yer almaktadır. Aynı zamanda Armutlu kuzeybatısında Akçalı Tepe, Karaçalı Tepe civarında Deliktaş Formasyonu içerisinde yaklaşık D-B doğrultulu küçük ölçekli düşey faylar olarak gözlenmektedir (Elitok 2000). Poisson (1977) Üst Miyosen (Tortoniyen) sonrası Isparta Büklümü'nün doğu kanadının batı kanadı üzerine bindirdiğini (Aksu bindirmesi) belirtmiştir. Koçyiğit (1981) Isparta büklümü'nün kuzey kısmında yerel olarak Orta Oligosen'den beri sıkışma tektoniği yerine, neotektonik dönemde çekme tektoniğinin egemen olduğunu ifade etmiştir. Böylece inceleme alanı içerisinde bu çekme tektoniğinin etkileri bariz bir şekilde gözlenmiştir. Normal ve düşey fayların ofiyolit yerleşiminden sonra Koçyiğit (1981)'in ifade ettiği gibi Orta Oligosen'den sonra oluştuğu tahmin edilmektedir.

Doğrultu atımlı faylar özellikle inceleme alanının doğu kesiminde Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimlerde yoğunlaşmış olarak gözlenmiştir. Arslandoğmuş güneyinde Kütlü Tepe'de, Köprüköy kuzeyi Düzbaşı Tepe'de ve güneyinde Karatepe güneybatı kesimlerinde, Çaltepe Formasyonu ile Sultandede şistleri arasında küçük ölçekli atımlar halinde (1000 metreyi bulmayan) bulunduğu belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki doğrultu atımlı fayların konumuna bakıldığında bunların genel olarak KD-GB ve D-B doğrultulu oldukları Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimleri etkilediği dikkat çekmektedir. Kızıltepe civarında KD-GB doğrultulu keskin bir fay ve bu takip edildiğinde Yassıbel civarında Paleozoyik ve Mesozoyik birimlerin ötelendiği görülmektedir. Aynı zamanda muhtemel olarak düşünülen KD-GB doğrultulu bu fay hem güney hem de kuzey kesimlerdeki daha küçük ölçekli faylarla paralellik sunmaktadır (Elitok 2000).

Feletepe doğu yamacında alt kesimlerde Orta Triyas yaşlı Fele Formasyonu bulunmaktadır. Bu birim üzerinde Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen yaşlı Sultandede Formasyonu ve bunun üzerinde de Alt-Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe Formasyonu ters fayla yer almaktadır (Örmeci 2005).

Anamasdağı'nın bugünkü morfolojisini kazandıran, doğu ile batı tarafını sınırlayan, KB-GD uzanımlı düşeye yakın eğimli birbirine paralel basamak faylar, Miyosen sonrası tektonikle ilişkilidir. Düşey fayların doğuya bakan blokları bir diğerine göre alçalmıştır. Bu hareketler sırasında genel gidişe dik ve/veya dike yakın fayların da geliştiği gözlenmiştir (MTA 1987).

İnceleme alanında sürüklenimler, bölgede allokton konumlu olan Eğirler Formasyonu, Deliktaş Formasyonu ve Kızıldağ ofiyolitlerinin bir kütle halinde yerleşimi ile karakterize edilmektedir. Anamasdağı doğusu ile Sultandağı güneyi arasındaki çukurluğa yerleşmiş bulunan bu kütle, Anamasdağı doğusunda KB-GD uzanımlı bir hat boyunca Alt Eosen sonrası-Lütesiyen’de Anamasdağı Formasyonu üzerine sürüklenmiştir. Ayrıca, Eğirler Formasyonu, Deliktaş Formasyonu ve Kızıldağ ofiyolitlerinin de kendi içinde tektonik dilimler şeklinde birbiri üzerine binik olduğu görülmektedir (MTA 1987).

4.3.3. Kıvrımlar

Kayaların kıvrım eksenleri Sultandağı’nın morfolojik yapısının oluşmasında etkili olmuştur. Kıvrım eksen doğrultuları Sultandağı’nın morfolojik gidişine uygun olarak yaklaşık KB-GD yönündedir. Dalım ise genelde GD yönündedir. Kıvrım eksenlerinin bu durumu Isparta bükümünde K-G yönlü sıkışmanın olduğunu göstermektedir (Kıran 2004). Mesozoyik’de daha yaşlı temel kayalarını transgresyonla örten Hacılabaz kireçtaşı, temelin yapısal çatısına uymuştur. Paleozoyik-Mesozoyik kayalarda kapalı kıvrımlar gelişmiştir (Demirkol 1986). Çalışma alanındaki birimlerin kıvrım eksenleri Sultandağları’nın gidişine uygun olarak KB-GD gidişlidir.

4.4. Kömürlerin ve Kayaçların İnorganik Jeokimyasal Özellikler

4.4.1. Kömürlerin ve kayaçların mineralojisi (XRD incelemeleri)

Çalışma alanında, kömür, tavan, taban ve ara kesme kayaç örneklerinin mineralojisi değerlendirilmiştir. Bu analizde 9 adet tüm kaya ve 21 adet kil boyu mineralojik analizi, 1 adet yarı nicel tüm kaya analizi, 3 adet yarı nicel kil detay analizi için seçilen örneğin XRD çekimleri TPAO Araştırma Merkezi tarafından gerçekleştirilmiştir. Örneklerin mineralojik analiz sonuçları belirlenerek, kömür ve kayaç XRD sonuçları tablo halinde verilmiştir (Çizelge 4.1).

Yapılan analiz sonucunda kömürlü birimlerin yarı nicel bolluklarına göre; kalsit, aragonit, kuvars, pirit, dolomit, kil mineralleri, feldispat grubu mineraller, kristobalit, ankerit, mika grubu mineraller (biyotit, muskovit), jips, talk, siderit, arsenopirit, anhidrit içerdiği tespit edilmiştir. İnorganik kısımda tanımlanmış olan mineraller oldukça benzerlik göstermekte, ayrıca her seviyede kil minerallerinin bolluğu dikkat çekmektedir. Şarkikaraağaç Havzasının ana minerali kalsit ve kil minerali olup daha az oranlarda aragonit ve pirit bulunmaktadır. Karbonat mineralleri ise kömür bileşiminde önemli bir yer tutmaktadır. Aragonit, kalsite nazaran daha az yaygın bulunmakla birlikte, yüzeysel koşullarda kalsitten daha az duraylıdır. Normal sıcaklık ve basınçta duraysızdır ve Mg/Ca oranının artmasıyla kolayca kalsite dönüşebilmektedir. Bölgedeki aragonit yoğunluğu, su seviyesinin arttığı dönemlerde havzaya kil, silt ve kum boyutunda kırıntılı malzeme çökelişi olduğunun bir göstergesidir.

Feldispat grubu minerallerden yarı nicel bolluk oranlarına göre K-feldispat, K-Na-feldispat (anortit), Na-feldispat bulunduğu belirlenmiştir. Feldispatların havzaya taşınarak geldiği ve volkanik kökenli olabileceği sonucu elde edilmiştir.

Kömürlü birimlerde yapılan bu analize göre kil mineral içeriğinde; simektit, illit, kaolinit (halloysit, kaolinit), klorit, paligorskit, karışık tabakalı kil mineralleri olduğu tespit edilmiştir. Smektit, illit, kaolinit ve klorit hemen hemen her seviyede kömürlü birim içerisinde bulunmaktadır. Klorit, yeşilist fasiyesini karakterize eden ve metamorfik kayalarda yaygın bir şekilde bulunan mineraldir. Killerde de çeşitli kil mineralleri ile birlikte sık olarak rastlanılır. Kloritlerin kömüre kil ile birlikte taşınarak geldiği, illitlerin de havzanın temelini oluşturan metamotfitlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu kömürlerde karışık tabakalı kil minerallerinden kaolinit- simektit, klorit-smektit ve illit-smektit mineralleri gözlenmiştir. En bol gözlenen kil mineralleri illit, smektit ve kaolinittir. Bölgede açılan IS71 ve IS114'nolu kuyularda illit ve kaolinit daha fazla oranda bulunurken, IS105'nolu kuyuda simektit ve kaolinit mineralinin daha fazla olduğu sonucu elde edilmiştir.

Kömür içinde sinjenetik pirit minerallerine sık rastlanmaktadır. Sinjenetik pirit, turba aşamasında, su içinde eriyik halde bulunan Fe ile H₂S'in birleşmesi sonucu oluşabilmektedir. Sinjenetik olanlar, yani turba ile eş yaşlı olanlara örnek olarak, pirit (FeS₂) framboidleri, siderit (FeCO₃) yumruları ve bitkisel hücre dolgusu veya gözenek dolgusu şeklinde bulunan kaolinit, kuvars, fosfat ve pirit mineralleri olabilmektedir. Bölgedeki birimlerde gözlenen piritin sinjenetik olabileceği düşünülmektedir. Ancak pirit epijenetik olarak da oluşabilmektedir.

Havzadaki kömürlerde, kil ve karbonatların varlığının yanı sıra içerisindeki pirit oranında da yüksek olduğu sonucu elde edilmiş, bu birimlerde piritle birlikte belirli fosillerinde bulunduğu gözlenmiştir.

Yapılan analiz sonucunda, kayaç örneklerinin yarı nicel bolluklarına göre ve kil mineral analizi sonucuna göre kömür ile benzer içerikte mineral kompozisyonunda olduğu tespit edilmiştir. Kayaç örneklerinde yapılan kil tayini analizinde simektit ve klorit mineral içeriğinin, kömürlü birimlerde yapılan analiz sonucunda IS71 ve IS114'nolu kuyularda bulunan simektit ve klorit içeriğinden daha yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir.

Kayaç analizinde kendi içerisinde IS71 ve IS114'nolu kuyuları simektit içeriğinin IS105'nolu kuyudaki kayaç örneklerine göre daha düşük olduğu, yani kuyuların konumlarına göre kayalarda bulunan mineral değişimlerinin olduğu gözlenmiştir. IS71 ve IS114'nolu kuyularda en bol gözlenen kil mineralleri illit, smektit ve kaolinit olmasına rağmen bu sıralama IS105 nolu kuyuda simektit, kaolinit, illit ve klorit şeklindedir.

Kayalarda smektit, illit, kaolinit ve klorit hemen hemen her seviyede bulunmakta, bu kil minerallerinin yanı sıra ayrıca paligorskit, kaolinit-simektit, klorit-smektit ve illit-smektit mineralleride gözlenmektedir.

Çizelge 4.1. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kömür örneklerin tüm kaya ve kil bileşenleri

Örnek No	Kil Grubu Mineraller										TKM	Kal	Arg	Q	D	Felds	P	Krst	S	Anh	Ank	Mika		Ap	J	T
	Sm	İ	Kln	Kl	Pal	Kln+Sm	Kl+İ	Kl+Sm	İ+Sm	H												B	M			
IS71-66,25		+++	+	++				+		+		+++	++	+	+		++		+						+	+
IS71-67,20	+	+++	++		+			+				+++	+	+			+			+						
IS71-80,30		+++	++	++	+		+	+																		
IS71-83	+	+++	+		++					+																
IS114-173,50	+	+++	++	+						+		++	++		+	+	+++				+	+	+	+	+	+
IS114-174,25		+++	+	++				+					++		+	+	+++			+		+			++	
IS105-69,10	+++	++	+	+				+																		
IS105-75,75	+++	+	++	+	++							+	++	++		+	++	+			+		+			
IS105-77,10	+++	++	++					+																		

H (Halloyisit), Kln (Kaolinit), İ (İllit), Sm (Smektit), Kl (Klorit), Pal (Paligorskit), TKM (Toplam kil miktarı), Kal (Kalsit), Arg (Aragonit), D (Dolomit), Felds (Feldispat), Q (Kuars), P (Pirit), Krst (Kristobalit), S (Siderit), Anh(Anhidrit), Ank (Ankerit), B (Biyotit), M (Muskovit), Ank (Ankerit), J (Jips), T(Talk). Minerallerin nispi bollukları en çok ‘+++’, en az ‘+’ olacak şekilde belirtilmiştir

Çizelge 4.2. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kayaç örneklerin tüm kaya ve kil bileşenleri

Örnek No	Kil Grubu Mineraller										TKM	Kal	Arg	Q	D	Felds	P	Krst	S	Anh	Ank	Mika		Ap	J	T
	Sm	İ	Kln	Kl	Pal	Kln+Sm	Kl+İ	Kl+Sm	İ+Sm	H												B	M			
IS71/65.70		+++	+	++	+			+																		
IS71/68.20		+++	+	++		+		+				+++	++				+		+		+	+	+	+	+	+
IS71/79.90	++	+++		+		++																				
IS71/81.30	+	++	+		+++																					
IS71/83.45	++	+++	+	+																						
IS114/172.70	+	+++	++	++																						
IS114/174		+++	+	+	++			+		+		++	+++	++	+	+	+	+				+			+	
IS114/174.40	++	+++	++	+				+																		
IS105/61.70																										
IS105/68.60	+++	+	++	++				+																		
IS105/69.75	+++	++	++	+								++	+++	+	+	+	++		+	+	+	+		++	+	
IS105/76.10	+++	++	+		+++			+				++		++	+	+							+		+	
IS105/77,25	+++	+	++	+			+																			

H (Halloyisit), Kln (Kaolinit), İ (İllit), Sm (Smektit), Kl (Klorit), Pal (Paligorskit), TKM (Toplam kil miktarı), Kal (Kalsit), Arg (Aragonit), D (Dolomit), Felds (Feldispat), Q (Kuvars), P (Pirit), Krst (Kristobalit), S (Siderit), Anh(Anhidrit), Ank (Ankerit), B (Biyotit), M (Muskovit), Ank (Ankerit), J (Jips), T(Talk). Minerallerin nispi bollukları en çok ‘+++’, en az ‘+’ olacak şekilde belirtilmiştir

4.4.2. Majör-iz element jeokimyası

İz elementler kömür içinde ağırlığı %1 den az olan elementler olarak tanımlanmışlardır ve ppm olarak rapor edilirler (Swaine 1990). Literatür çalışmaları sonucu elementler kömür içinde ya organik ya da inorganik kökenli olarak bulunmakla birlikte çoğu zaman her iki formda da görülmektedir (Baba vd. 2008). Majör ve iz element çalışmalarının çoğunda, kömür külü ile element ilişkisi öncelikli olarak araştırılmıştır.

İncelenen tüm kömür, kül ve kayaç örneklerinin majör ve iz element analizleri ACME Analitik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanındaki '71, 105 ve 114'nolu sondaj kuyularından alınan kömür, kayaç ve kül örneklerine, ICP-MS analizi uygulanması sonucunda 61 adet majör ve iz element değeri tespit edilmiştir. Bu iz elementlerden bazıları toksik etki yaratmasından dolayı çevre ve insan sağlığı açısından risk teşkil edebilmektedir.

Elde edilen majör ve iz element konsantasyonlarının her bir kuyu için ortalama ve sınır değerleri ile üst kıta kabuğu (UCC), Amerika (ABD), Çin, Türkiye ve Dünya kömürlerinin ortalama değerleri karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.3). Ayrıca kömür için yapılan bu işlem, kömürün yanması sonucu oluşan külde de yapılarak, sonuçları, kömür ortalama değerleri ile karşılaştırılmış, külde artış gösterenlerde, meydana gelecek durumlar irdelenmiş, hangi kül sınıfına ait olduğu, içerisinde bulunan elementlere göre belirlenmiş ve çevresel etkileri hakkında yorumlamalar yapılmıştır.

Çizelge 4.3. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114' nolu kuyulardan alınan kömür ve kayaç örneklerinin major ve iz element sonuçları

	Si*	Al*	Fe*	Mg*	Ca*	Na*	K*	Ti*	P*	Mn*	Cr*	TOT/C*	TOT/S*	Be	Sc	V	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Se	Rb	Pb	Bi	Th	U	Ge	In
IS71/51.80	7,43	2,57	1,58	0,66	27,87	0,19	0,58	0,16	0,02	0,03	0,01	10,45	0,55	<1	6	51	50,9	49	14,8	21	6,2	1,8	<0,5	37,8	4,9	<0,1	3,6	1,8	<0,1	<0,02
IS71/65.70	0,62	0,24	0,22	1,46	34,29	0,03	0,06	0,01	0,02	0,07	-	15,48	0,48	<1	<1	<8	82,5	24	2,9	3	<0,5	2,1	<0,5	3,6	0,7	<0,1	0,8	2,5	<0,1	<0,02
IS71/66.25	7,79	1,24	0,79	1,16	23,65	0,1	0,27	0,07	0,05	0,02	-	16,45	1,08	1	3	26	87,3	38	4,9	7	2,5	2,9	<0,5	18,8	1,8	<0,1	1,2	0,2	<0,1	<0,02
IS71/67.20	3,33	0,98	0,48	1,01	9,75	0,22	0,35	0,04	0,03	0,02	-	34,69	2,7	<1	<1	13	105	35	6,9	13	1,9	11	0,9	19,8	3,2	<0,1	3	1	0,1	<0,02
IS71/68.20	1,02	0,38	0,23	0,78	20,18	0,05	0,07	0,02	0,01	0,02	-	29,7	1,9	1	<1	10	44,9	<20	1,8	7	<0,5	6,3	<0,5	4,8	0,8	<0,1	0,3	0,1	<0,1	<0,02
IS71/69.30	4,06	0,8	0,68	0,8	31,28	0,09	0,19	0,05	0,03	0,03	-	14,3	0,68	<1	2	9	36,2	34	5,7	6	1,2	5,3	<0,5	11,9	1,7	<0,1	1,1	0,6	<0,1	<0,02
IS71/69.15	2,11	0,73	0,31	0,89	33,78	0,07	0,15	0,04	0,03	0,04	-	14,11	0,31	2	2	10	37,8	<20	3	4	0,6	3,4	<0,5	10,9	1,8	<0,1	1,6	0,8	<0,1	<0,02
IS71/80.30	1,36	0,6	0,89	0,84	2,59	0,04	0,08	0,05	0,03	0,01	0,01	48,03	3,38	3	1	64	42,6	46	12,8	16	1,1	27,8	1,3	5,7	2,6	<0,1	0,5	3,9	0,8	<0,02
IS71/81.30	0,4	0,05	0,06	0,91	35,23	0,04	0,01	-	0,03	0,06	-	15,06	0,17	<1	1	<8	11,4	<20	1,8	<1	<0,5	1,5	<0,5	<0,1	0,1	<0,1	<0,2	0,2	<0,1	<0,02
IS71/83	9,86	3,11	4,53	1,3	2,39	0,14	0,43	0,22	0,02	0,02	0,01	24,16	4,77	4	10	163	35,2	165	57,7	29	6	35,6	1,5	29,2	12,1	0,1	3,2	18,2	0,2	<0,02
IS71/83.45	15,99	6,01	3,41	1,64	12,13	0,23	1,79	0,32	0,06	0,04	0,01	7,45	0,69	4	14	126	19	106	18,5	49	12,4	5,3	<0,5	95,6	7,6	<0,1	8	2,4	<0,1	<0,02
IS114/172.70	22,91	13,2	4,84	1,3	0,26	0,35	3,74	0,55	0,01	0,02	0,01	1,2	0,68	4	24	145	13,6	48	36,4	78	33	6,4	<0,5	240,3	18,6	0,5	18,3	4,8	<0,1	<0,02
IS114/173.50	3,85	2,37	4,27	0,72	2,01	0,13	0,54	0,08	0,01	0,02	-	40,8	5,9	4	4	30	11,9	22	18,1	20	3,3	19,1	1,7	36,7	4,8	0,1	3,6	7,5	<0,1	<0,02
IS114/174	21,76	13,56	5,08	0,89	0,91	0,27	3,33	0,54	0,1	0,03	0,01	0,64	1,42	15	23	130	34,1	90	69,2	129	31,2	7,5	<0,5	207,8	25,4	0,5	22,1	11,5	<0,1	0,04
IS114/174.25	2,50	1,46	8,16	0,58	1,92	0,1	0,3	0,05	-	0,02	-	35,78	10,4	<1	3	30	20,5	118	18	19	4,2	49,1	2,6	22	3,9	0,1	2,4	26,5	0,5	0,02
IS114/174.40	3,88	1,92	1,48	1,1	30,6	0,1	0,56	0,1	0,04	0,12	-	14,45	0,88	2	4	24	20,6	47	8,2	13	3,3	<0,5	<0,5	33,7	2,7	<0,1	2,7	1,2	<0,1	<0,02
IS105/61.70	18,1	6,22	5,13	2,92	9,75	0,76	0,23	0,52	0,04	0,17	0,02	2,66	0,08	<1	28	198	46,4	76	52,1	51	13,4	<0,5	<0,5	7,7	1,2	<0,1	1,2	0,3	<0,1	0,02
IS105/68.60	20,53	7,65	7,63	3,93	1,44	0,42	0,57	0,85	0,06	0	0,02	2,05	0,18	2	31	210	49,1	218	85,2	82	19,2	0,6	0,6	26,3	2,6	<0,1	3,4	0,9	<0,1	0,04
IS105/69.10	9,54	3,79	3,48	2,3	1,46	0,14	0,21	0,37	0,03	0,02	0,03	28,83	1,36	<1	15	722	23	118	45,6	41	9	4,2	3,6	10	2	<0,1	1,7	2,4	0,3	<0,02
IS105/69.75	9,34	3,78	3,31	1,51	22,65	0,3	0,65	0,31	0,03	0,07	0,01	9,93	1,39	1	12	70	21,2	99	23,1	28	8,9	1,6	<0,5	36,4	4,5	0,1	2,9	0,9	<0,1	0,02
IS105/75.75	16,59	5,63	5,52	2,22	1,62	0,16	0,29	0,5	0,02	0,02	0,04	12,06	1,95	2	24	541	17,6	103	49,7	42	12,7	0,8	3,7	15	3	<0,1	2,8	2,6	<0,1	<0,02
IS105/76.10	22,33	7,27	6,14	2,42	0,87	0,11	0,22	0,61	0,01	0,02	0,03	2,04	0,09	1	33	311	23	110	56,7	50	12,7	<0,5	1	12,9	3,8	<0,1	3,5	0,7	<0,1	0,04
IS105/77.10	19,43	6,78	5,15	2,3	1,14	0,16	0,32	0,6	0,02	0,02	0,05	7,89	0,2	1	29	597	19,9	99	52,9	40	12,8	1,2	3,5	14,4	3,9	<0,1	4,1	2,6	<0,1	0,04

*Kırmızı renkli olan örnekler kömür, siyah renkli olan örnekler kayaç örnekleri olarak belirlenmiştir

Çizelge 4.3. Devamı

	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Au**	Hg	Tl
IS71/51.80	805	8,2	43,3	4,7	1,2	<0,1	<0,1	<1	<0,1	4,4	444	11,6	21	2,5	9	1,9	0,41	1,77	0,26	1,41	0,33	0,86	0,11	0,83	0,09	1,1	0,4	4,7	<0,5	0,03	<0,1
IS71/65.70	644,5	0,9	5,1	0,3	1,6	<0,1	<0,1	<1	<0,1	0,6	400	0,4	1,8	0,19	0,6	0,1	<0,02	0,26	0,01	0,12	0,03	0,13	<0,01	0,15	0,03	0,2	<0,1	7,4	<0,5	0,01	<0,1
IS71/66.25	1060,3	4,1	29,9	2,8	0,4	<0,1	<0,1	<1	<0,1	1,5	374	5,6	11,8	1,25	4,6	0,98	0,17	0,88	0,1	0,71	0,13	0,4	0,06	0,44	0,06	0,7	<0,1	5,7	<0,5	0,02	<0,1
IS71/67.20	284,4	3,2	44,1	4,6	2,7	<0,1	<0,1	<1	0,3	1,3	260	5,5	11,8	1,11	3,9	0,69	0,1	0,69	0,08	0,55	0,06	0,31	0,04	0,35	0,06	0,9	0,2	12,6	<0,5	0,08	0,1
IS71/68.20	712,5	1,5	18,7	2,7	2,1	<0,1	<0,1	<1	0,2	0,3	340	1,2	3,9	0,45	1,4	0,45	0,07	0,41	0,04	0,18	0,03	0,24	0,03	0,32	0,03	0,5	0,2	5	<0,5	0,03	<0,1
IS71/69.30	1105,6	2,3	20,6	1,7	1,2	<0,1	<0,1	<1	0,2	1	517	4,1	9	0,93	3	0,62	0,13	0,8	0,1	0,6	0,07	0,27	0,03	0,38	0,07	0,7	0,2	7,2	1,4	0,03	<0,1
IS71/69.15	939,8	3,1	17,9	1,5	0,6	<0,1	<0,1	<1	<0,1	1,2	578	4,6	9,2	0,92	3,6	0,51	0,17	0,65	0,1	0,57	0,07	0,3	0,04	0,29	0,04	0,3	0,1	8,1	<0,5	0,04	<0,1
IS71/80.30	132,2	0,5	29,2	5,8	6,9	<0,1	0,1	<1	0,7	0,6	101	1,1	3,1	0,38	1,3	0,32	0,03	0,38	0,01	0,16	<0,02	0,12	0,01	0,18	0,05	0,6	<0,1	13,1	2,2	0,01	<0,1
IS71/81.30	1340,3	0,4	2,6	0,2	0,7	<0,1	<0,1	<1	<0,1	<0,1	821	0,6	0,9	0,11	0,4	<0,05	0,03	0,22	0,02	0,06	<0,02	0,07	0,01	0,09	-	0,1	<0,1	7,3	<0,5	<0,01	<0,1
IS71/83	169,7	5,3	108,1	10,1	16,9	<0,1	0,3	<1	1,1	2,8	235	7,4	14,8	1,66	5,9	1,11	0,22	1,13	0,17	0,83	0,16	0,67	0,07	0,6	0,09	2,2	0,5	6,3	1,5	0,06	<0,1
IS71/83.45	253	13,2	84,1	11,5	1,5	<0,1	<0,1	2	0,2	6,8	494	21,1	40,5	4,5	16,7	2,84	0,59	2,52	0,4	2,37	0,55	1,29	0,21	1,39	0,19	2,3	0,8	5,2	<0,5	0,03	0,1
IS114/172.70	73,9	24,2	119,5	18	0,4	<0,1	<0,1	5	0,4	12,9	795	43,6	84,6	9,18	34,6	5,78	1,18	5,27	0,81	4,39	0,8	2,63	0,39	2,52	0,38	3,1	1	7,4	0,7	0,08	<0,1
IS114/173.50	110,4	6,1	25	3,1	2,7	<0,1	<0,1	<1	0,9	2,6	398	7,5	13	1,52	6	1,25	0,31	1,69	0,24	1,4	0,26	0,74	0,11	0,69	0,11	0,7	0,3	4,4	0,7	0,06	<0,1
IS114/174	90,4	32,8	117,5	18,6	0,5	<0,1	0,2	4	0,6	10,8	948	40,4	82,6	9,44	35,7	7,88	1,92	8,15	1,27	7,59	1,32	4,08	0,49	3,73	0,51	3,4	1,4	7,7	1	0,04	0,3
IS114/174.25	104,3	6,9	20,2	2,7	9,1	<0,1	<0,1	<1	1,7	1,9	352	4,2	8,9	0,85	3,5	0,75	0,21	1,14	0,18	0,87	0,24	0,65	0,09	0,59	0,1	0,6	0,2	5,5	1,9	0,04	<0,1
IS114/174.40	688,1	5,1	25,6	3,5	1,2	<0,1	<0,1	<1	0,1	1,9	626	6,6	14,7	1,54	4,9	1,02	0,21	1,21	0,18	0,95	0,17	0,67	0,08	0,62	0,09	0,5	0,2	5,5	<0,5	0,02	<0,1
IS105/61.70	432,7	22,3	68,9	8,5	0,1	<0,1	<0,1	<1	<0,1	0,3	68	9,1	19,9	2,41	10,2	2,47	0,91	3,66	0,56	3,77	0,8	2,32	0,31	2,18	0,34	1,8	0,8	17	<0,5	0,02	<0,1
IS105/68.60	171,9	22,9	142,1	26,9	1,9	<0,1	<0,1	1	<0,1	1,1	98	22,7	45,4	5,18	21,8	4,91	1,27	4,68	0,74	4,43	0,87	2,44	0,36	2,28	0,37	3,4	1,5	5,6	<0,5	0,02	<0,1
IS105/69.10	97,2	15,5	72,3	12,5	8,4	<0,1	0,2	<1	<0,1	0,7	39	13,1	22,5	2,77	11,8	2,3	0,69	2,68	0,4	2,79	0,49	1,55	0,21	1,35	0,17	1,5	0,9	3	<0,5	0,04	<0,1
IS105/69.75	746,8	10,9	60,7	10,1	1,8	<0,1	<0,1	<1	<0,1	1,7	412	15,4	26,4	2,94	13	2,16	0,61	2,12	0,33	2,17	0,43	1,13	0,17	0,99	0,16	1,5	0,6	14,3	0,7	0,04	<0,1
IS105/75.75	122,3	27,7	88,4	11,9	1,6	<0,1	0,2	<1	<0,1	1,5	88	9,2	18,9	2,49	10,8	2,88	0,95	3,84	0,68	4,45	0,98	2,97	0,43	2,68	0,42	2,1	0,8	9,7	<0,5	0,03	<0,1
IS105/76.10	36,1	19,2	104,9	13,8	0,1	<0,1	0,2	1	<0,1	1,2	27	13,3	23,9	3,28	12,6	2,67	0,87	3,29	0,58	3,72	0,79	2,28	0,34	2,34	0,36	2,6	0,6	2,6	<0,5	0,03	<0,1
IS105/77.10	95,9	33,4	110,7	14,8	1,9	<0,1	0,2	<1	<0,1	1,4	77	13,7	25,4	3,39	13,5	3,45	1,07	4,37	0,79	5,14	1,19	3,46	0,46	3,03	0,48	2,7	0,8	10,9	<0,5	0,03	0,1

Havzadaki kömürlerde bulunan majör elementlerden; Si, Al, Fe, Mg, Ca, K, Ti, P, Cr'un dünya kömürlerinin üzerinde sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.4). Ayrıca Sc, V, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, Er, Yb, Hf, W, U gibi iz elementlerin kömür içerisindeki bulunma değerlerinin dünya kömürlerindeki ortalama sınır değerlerinden daha yüksek sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Bölgedeki kömürlü örneklerin majör element değerleri diğer linyitlerin değerinden daha yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanında kömürlü birimler için yapılan iz element analizleri sonucunda; Sc, V, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, Er, Yb, Hf, W, U gibi iz elementlerin kömür içerisinde bulunma değerlerinin sonuçları, diğer linyitlerde bulunan bu elementlerin değerlerinden daha yüksektir.

Çalışma alanındaki kömürlü birimlerde elde edilen iz elementlerden; Sc, V, Co, Cu, Ga, Se, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Th gibi element değerleri Türkiye'de bulunan kömürlü birimlerdeki iz element içerik değerlerinden fazla miktarda olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca majör oksit mineral içeriklerinden de P ve Mn hariç diğer tüm elementler daha yüksek oranda değerler sunmuştur.

Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, Cr'un kömür içindeki değerlerinin, ABD'de bulunan kömürlerin majör element değerlerinden daha yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. Bölgedeki kömürlü birimlerde yapılan iz element analizleri sonucunda; Sc, V, Co, Ni, Cu, Ga, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, U'un iz element değerlerinin kömür içerisindeki ortalama değerleri, ABD kömürlerinde bulunan iz element standart sınır değerlerinden daha yüksek değerde sonuçlar vermiştir.

Si, Fe, Mg, Ca, K, Na, Ti, Mn, Cr majör elementlerinin ortalama değerlerinin Çin'de bulunan kömürlerin ortalama sınır değerinden daha yüksek değerde olduğu gözlenmiştir.

Çalışma alanından alınan örneklerde yapılan iz element analizlerinin sonucunda; Sc, V, Co, Ni, Cu, As, Rb, Sr, Mo, Cs, Ba, Er, W, U gibi iz elementlerin kömür içerisindeki konsantasyonlarının her bir kuyu için ortalama değerleri ile üst kıta kabuğu (UCC), Amerika (ABD), Çin, Türkiye, Dünya linyitleri ve Dünya kömürlerinin ortalama değerleri Çizelge 4.5'de sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114’nolu kuyulardan alınan kömürlü birimlerde bulunan majör oksit sonuçları

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	TOT/C	TOT/S
IS71/66.25	7,79	1,24	0,79	1,16	23,65	0,1	0,27	0,07	0,05	0,02	-	16,45	1,08
IS71/67.20	3,33	0,98	0,48	1,01	9,75	0,22	0,35	0,04	0,03	0,02	-	34,69	2,7
IS71/80.30	1,36	0,6	0,89	0,84	2,59	0,04	0,08	0,05	0,03	0,01	0,01	48,03	3,38
IS71/83	9,86	3,11	4,53	1,3	2,39	0,14	0,43	0,22	0,02	0,02	0,01	24,16	4,77
IS114/173.50	3,85	2,37	4,27	0,72	2,01	0,13	0,54	0,08	0,01	0,02	-	40,8	5,9
IS114/174.25	2,50	1,46	8,16	0,58	1,92	0,1	0,3	0,05	-	0,02	-	35,78	10,4
IS105/69.10	9,54	3,79	3,48	2,3	1,46	0,14	0,21	0,37	0,03	0,02	0,03	28,83	1,36
IS105/75.75	16,59	5,63	5,52	2,22	1,62	0,16	0,29	0,5	0,02	0,02	0,04	12,06	1,95
IS105/77.10	19,43	6,78	5,15	2,3	1,14	0,16	0,32	0,6	0,02	0,02	0,05	7,89	0,2

Çizelge 4.5. Şarkikaraağaç sahasında bulunan kömürler ile UCC, Dünya, Linyit, Türkiye, ABD ve Çin kömürlerine ait element konsantrasyonlarının aritmetik ortalama değerleri

Element (ppm)	Şarkikaraağaç havzasındaki kömür örneklerinin element ortalaması	UCC ^a	Dünya ^b	Linyit ^c	Türkiye ^d	ABD ^e	Çin ^f
Si*	9,770869565	31,14	- ^c	-	5,1	2,4	3,96
Al*	3,927826087	8,15	1 ^c	-	2,1	1,5	3,16
Fe*	3,19	3,92	1 ^c	-	2,3	1,3	3,39
Mg*	1,462608696	1,5	0,02 ^c	-	0,53	0,11	0,13
Ca*	13,38130435	2,57	1 ^c	-	1,8	0,46	0,88
Na*	0,182608696	2,43	0,02 ^c	-	0,11	0,08	0,12
K*	0,649565217	2,32	0,01 ^c	-	0,32	0,18	0,16
Ti*	0,275454545	0,38	0,05 ^c	-	0,1	0,08	0,2
P*	0,031818182	0,07	- ^c	-	-	0,04	0,04
Mn*	0,038695652	0,08	0,05 ^c	-	-	0,05	0,012
Cr*	0,011304348	0,01	- ^c	-	-	0,001	-
TOT/C*	16,87869565						
TOT/S*	1,793043478						
Be	-	2,1	1,6	1,2	1,3	2,2	2,1
Sc	13,45	14	3,9	4,1	4,8	4,2	4,38
V	165,7142857	97	25	22	65	22	35,1
Co	37,1173913	17,3	5,1	4,2	10	6,1	7,08
Ni	82,25	47	13	9	150	14	13,7
Cu	28,08695652	28	16	15	20	16	17,5
Zn	34	67	23	18	40	53	41,4
Ga	9,78	17,5	5,8	5,5	5,8	5,7	6,55
As	9,675	4,8	8,3	7,6	65	24	3,79
Se	-	0,09	1,3	1	-	2,8	2,47
Rb	40,96818182	84	14	10	25	21	9,25
Sr	444,2304348	320	110	120	210	130	140
Y	11,72608696	21	8,4	8,6	8,3	8,5	18,2
Zr	59,10434783	193	36	35	-	27	89,5

Çizelge 4.5. Devamı

Element(ppm)	Şarkikaraağaç havasındaki kömür örneklerinin element ortalaması	UCC ^a	Dünya ^b	Linyit ^c	Türkiye ^d	ABD ^e	Çin ^f
Nb	8,273913043	12	3,7	3,3	4	2,9	9,44
Mo	2,847826087	1,1	2,2	2,2	9,8	3,3	3,08
Ag	—	53*	0,1	0,09	-	-	-
Cd	—	0,09	0,22	0,24	-	0,47	0,25
Sn	—	2,1	1,1	0,79	-	1,3	2,11
Sb	—	0,4	0,92	0,84	2,7	1,2	0,84
Cs	2,659090909	4,9	1	0,98	4,9	1,1	1,13
Ba	369,2173913	624	150	150	130	170	159
La	11,39130435	31	11	10	-	12	22,5
Ce	22,34782609	63	23	22	-	21	46,7
Pr	2,564782609	7,1	3,5	3,5	-	-2,4	6,42
Nd	9,947826087	27	12	11	-	9,5	22,3
Sm	2,138181818	4,7	2	1,9	-	1,7	4,07
Eu	0,550909091	1	0,47	0,5	-	0,4	0,84
Gd	2,252608696	4	2,7	2,6	-	-1,8	4,65
Tb	0,35	0,7	0,32	0,32	-	0,3	0,62
Dy	2,140434783	3,9	2,1	2	-	1,9	3,74
Ho	0,465238095	0,83	0,54	0,5	-	-0,35	0,96
Er	1,286086957	2,3	0,93	0,85	-	-1	1,79
Tm	0,184090909	0,3	0,31	0,31	-	-0,15	0,64
Yb	1,21826087	2	1	1	-	0,95	2,08
Lu	0,190909091	0,31	0,2	0,19	-	-0,14	0,38
Hf	1,456521739	5,3	1,2	1,2	-	0,73	3,71
Ta	0,605263158	0,9	0,28	0,26	-	0,22	0,62
W	7,660869565	1,9	1,1	1,2	-	1	1,08
Au**	—	1,5	3,7	3	-	-	-
Hg	0,035909091	0,05	0,1	0,1	0,11	0,17	0,16
Tl	—	0,9	0,63	0,68	-	1,2	0,47
Pb	4,943478261	17	7,8	6,6	9,3	11	15,1
Bi	—	0,16	0,97	0,84	-	(<1)	0,79
Th	4,181818182	10,5	3,3	3,3	-	3,2	5,84
U	4,069565217	2,7	2,4	2,9	13	2,1	2,43
Ge	—						
In	—						

İleri teknoloji elementleri olarak kabul edilen Th, Nd, Ga, Y, Ge ve Cu, Si, Fe, Be, Co, Cr, Mg, Nb, W, Cd, Zn, V, Mo, Sc, Ni, Au, Ag gibi iz elementler ekonomik açıdan önem arz eden elementler kategorisine girmektedir. Bölgedeki kömürlü birimlerde bulunan bu iz elementlerden; Cu, Co, W, V, Ni ve Mo miktarının ortalama değerlerinin, kömürde bulunması gereken standart sınır değerinden daha fazla miktarda olduğu tespit edilmiştir.

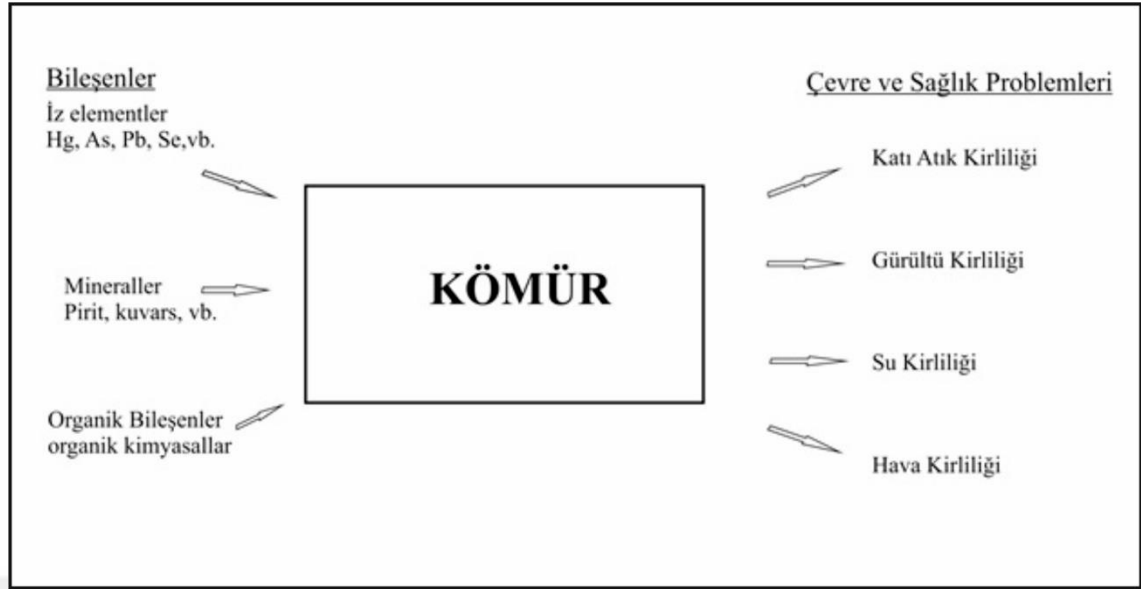
Çizelge 4.6. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kömürlü örneklerde, çevreye duyarlı iz element sonuçları

	As	Ba	Be	Cd	Cu	Co	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Th	U	V	Zn
IS71/66.25	2,9	374	1	<0,1	4,9	87,3	0,02	0,4	38	1,8	<0,1	<0,5	<1	1,2	0,2	26	7
IS71/67.20	11	260	<1	<0,1	6,9	105	0,08	2,7	35	3,2	0,3	0,9	<1	3	1	13	13
IS71/80.30	27,8	101	3	0,1	12,8	42,6	0,01	6,9	46	2,6	0,7	1,3	<1	0,5	3,9	64	16
IS71/83	35,6	235	4	0,3	57,7	35,2	0,06	16,9	165	12,1	1,1	1,5	<1	3,2	18,2	163	29
IS114/173.50	19,1	398	4	<0,1	18,1	11,9	0,06	2,7	22	4,8	0,9	1,7	<1	3,6	7,5	30	20
IS114/174.25	49,1	352	<1	<0,1	18	20,5	0,04	9,1	118	3,9	1,7	2,6	<1	2,4	26,5	30	19
IS105/69.10	4,2	39	<1	0,2	45,6	23	0,04	8,4	118	2	<0,1	3,6	<1	1,7	2,4	722	41
IS105/75.75	0,8	88	2	0,2	49,7	17,6	0,03	1,6	103	3	<0,1	3,7	<1	2,8	2,6	541	42
IS105/77.10	1,2	77	1	0,2	52,9	19,9	0,03	1,9	99	3,9	<0,1	3,5	<1	4,1	2,6	597	40

4.4.2.1. Kömürlü birimlerde bulunan iz elementlerin çevresel etkileri

Kömürün yakılması ile ya da yer altında bulunması halinde çevre açısından meydana gelebilecek durumlar şu şekilde sıralanmaktadır:

- 1) Kömürün yanması sonucu oluşan çevresel etkiler: Isıl kirlenme, kömür parçacıklarının saçılması (is oluşturma), sülfür yayılımı, asit yağmuru, sera etkisi, iz element açığa çıkması, toprak ve yörenin estetik güzelliğinin bozulma durumudur.
- 2) Kömürün yer altında bulunmasından kaynaklanan çevresel etkileri: İnorganik bileşenlerin ve organik bileşenlerin filtrelenmesi, BEN (Balkan Epidemik Nefropati) hastalığı, kendiliğinden yanma, sera etkisi yaratan gazların açığa çıkmasıdır.
- 3) Kömürün taşınması aşamasında ve depolanmasından doğan çevresel etkileri; Toz oluşturma, kendi kendine yanma, gürültü kirliliğidir.
- 4) Kömür madenciliğinin çevresel etkileri: Yüzey ve yeraltı sularının kalitesinde değişiklikler oluşturma, tavan çökmesi, kömür üretiminde çalışanlarda oluşan görüntü körlüğü, açık işletmelerdeki doğa tahribatı ve ekolojik dengenin bozulmasıdır (Perçinel 2000).



Şekil 4.5. Kömürün yanmasından kaynaklanan çevre ve sağlık problemleri (Çancı vd. 1997)

Dünyada son yıllarda artan enerji ihtiyacından kaynaklanan, ayrıca petrol piyasasındaki belirsizliklerden dolayı, kömürün enerji üretimindeki kullanımı artmıştır. Termik santrallerin verimliliğini arttırmak ve kömür kullanımını daha çekici hale getirmek için birçok araştırma yapılmasına karşın, kömürün yanmasının karmaşıklığı nedeniyle ortaya çıkan bazı problemlerin olması ve yarattığı çevre sorunları, kömür kullanımının yaygınlaşması ile birlikte çözümü olmayan olumsuz durumları meydana getirebilmektedir. Çevre ve insan açısından tehlike oluşturabilecek elementlerin dolaylı olarak insan vücuduna girmesi ve vücutta birçok hayati risk oluşturması, günümüzde en önemli sorunlar arasında yer almaktadır.

Kömürün doğada bulunuşunun araştırılmasından çıkartılması ve kullanılması aşamalarına kadar her basamağında, önlem alınmadığı takdirde, kimyasal yapısında bulunan iz elementlerden toksik etkiye sahip olanları, standart sınır değerlerini aşması halinde risk faktörü oluşturabilmektedir. Kömürün yanması ile içerisinde bulunan As, Cd, Ga, Ge, Pb, Sr, Mo, Zn, Ba gibi toksik iz elementler, termik santrallerde, cüruf, uçucu kül ve gaz atıklarına geçmektedir (Akar 2001).

Enerji üretimi açısından doğal bir cevher olan kömürde 66 adet iz element bulunduğu tespit edilmiş ve bunlardan 24 tanesi toksik özelliğinden dolayı çevre ve sağlık açısından hassasiyet gerektiren, hava kirletici elementler olarak sınıflandırılmıştır. Bu nedenle kömür, kullanımı ile hem hava kirletici hem de atık küle geçerek liç olması nedeni ile potansiyel kirletici konumundadır. (Swaine 1990). Swaine ve Goodarzi (1995) kömürde bulunan iz elementlerin çevresel etkilerini 3 grup altında değerlendirmiştir. Grup I (As, Cd, Hg ve Se) elementleri toksik olarak kabul edilirler ve çevre açısından hassas elementlerdir. Grup II (B, Be, Cu, F, Mo, Ni, Pb, Th, U, V ve Zn) çevresel etkileri söz konusudur. Risk oranı Grup I'e nazaran daha azdır. Grup III

(Ba, Co, Sb, Sn ve Tl) elementlerinin konsantrasyonları sıkıntılı çevresel bir etki yaratmamaktadır.

Çizelge 4.7. İz elementlerin çevresel ilgilerine göre sınıflandırılması (Swaine ve Goodarzi 1995)

Grup	I	II	III
Element	As Cd Cr H Se	B Be Cu F Mo Ni Pb Th U V Zn	Ba Co Sb Sn Ti

a) Grup I (As, Cd, Hg ve Se) çevre açısından öncelikli hassas elementler

Birinci grup elementler, kömür içerisinde düşük konsantrasyonda bulunmasına rağmen son derece tehlikeli ve çevresel açıdan riskli olan elementlerden oluşmaktadır. Bu elementlerden As, Hg ve Se uçucu elementler olarak bilinmektedir. Kömür termik santrallerinde ve ısı amaçlı kullanıma bağlı atmosfere emisyon olmaları ciddi çevresel ve sağlık sorunları yaratabilmektedir (Zheng vd. 1999; Finkelman 2004; Dai vd. 2005).

Bu grupta yer alan, çalışma alanından alınmış kömürlü örneklerdeki iz elementlerden As ve Se ortalama değerinin, kömürde bulunması gereken standart sınır değerinden daha yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir. Çevresel açıdan riskli olma durumuna göre yapılan bu sınıflamada en önemli ve dikkat edilmesi gereken iz elementlerin insan vücudundaki değerleri ve maruz kalma süresi kontrol altında tutulmalıdır.

Arsenik (As)

Çalışma alanındaki kömürlü birimlere yapılan analiz sonucunda arseniğin, havza bazındaki değişimi 0,8-49,1 ppm arasında değerlere sahiptir. Bu aralıktaki arsenik değeri ABD ve Türkiye'deki değerlerden düşük olsa bile diğer tüm karşılaştırma yapılan değerlerden daha yüksek oranda bulunmaktadır. Bu toksik iz elementin insan vücudunda bulunması gereken en üst değer 7 miligram'dır. Türkiye kömürleri için en yüksek değerler (maks=3854 ppm) Gökler kömür alanı için Karayığit vd. (2000c) tarafından rapor edilmiştir.

Arsenik (As), kömür içerisinde kükürt ve germanyum gibi sık rastlanan bir elementtir. Yer kabuğunda As Clarke Değeri (yer kabuğu ortalaması) 5 ppm'dir.

Doğada kömürün en çok mineral bileşenlerinden olan pirit (FeS_2) birlikte rastlanmakta ve kömürün organik bileşenlerine bağlı olarak da bulunmaktadır. Dolayısıyla kömürün pirit yüzdesi arttıkça içerisindeki arsenik oranı da aynı oranda artacaktır. Bazı çalışmalarda ince-taneli pirit ve diğer sülfidler ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (Coleman ve Bragg 1990; Finkelman 1994a; 1995; Huggins and Huffman 1996; Gluskoter vd. 1977; Ward 2002; Ding vd. 2001; Dai vd. 2005; Rieder vd. 2007; Yudovich ve Ketris 2006). Çalışma alanındaki örneklerle yapılan mineralojik analiz sonucunda, kömürlü ve killi birimlerde yoğun olarak pirit minerali içerdiği saptanmıştır. Son derecede zehirli bir element olmasından dolayı, As oranı yüksek olan kömürlerin yakılmasında çok dikkat edilmelidir, aksi takdirde tehlikeli durumlar oluşturmaktadır. Arsenik minerallerinin başlıcaları: elementel arsen, arsenopirit, realgar, orpiment, arsenikli nikel sülfür olarak belirtilmektedir. Ayrıca As cevher mineralleri, kadmiyum, kurşun, gümüş, altın, antimon, fosfor, volfram ve molibdenle birlikte yüksek oranda geçiş metallerinide barındırmaktadır (Atabey 2009a). Kömürün içerisindeki arsenik, ya turba ile eş zamanlı olarak, yani senjenetik, ya da epijenetik olarak bulunmaktadır. Kısacası kömürleşme ile eş zamanlıdır.

As, kömürün yanması sonucu büyük ölçüde gazla dönüşmektedir. Ancak bu gaz, bir süre sonra yoğunlaşarak katı hale geçerek tozlaşır ve uçucu küle geçerek atmosfere yayılmaktadır. Yanma olayı termik santrelerde meydana gelmesinden dolayı en çok o ortamdaki kömürün yanması sonucu As ortaya çıkar, büyük bir kısmı elektrostatik filtrelerde tutulmasından dolayı atmosfere karışması engellenmektedir. Pirit ve organik maddeye bağlı olan As, uçucu küle karışırken, kil minerallerine bağlı olan As, kazan dibindeki küle geçmektedir.

Endüstriyel kullanımlarında kömürde bulunan As konsantrasyonu için 100-300 ppm sınır değeri olarak kabul edilmekte, bu değerden fazla olan As değeri içeren kömürler çevre ve insan sağlığı için tehlike oluşturmaktadır. Kömürde bulunan As içeriğini; deniz kıyısına yakın bataklık ortamlarında oluşması durumunda yüksek değeri içermesi etkileyebilir, çünkü deniz suyunun As içeriği yaklaşık 0,003 ppm değerlerinde olması yüksek bir oran olduğunu göstermektedir.

As, sınırlı ve dikkatli ölçüde kullanılması halinde; tarımda zararlı haşerelerin yok edilmesinde, veteriner hekimliğinde, kumaş boyalarını ağartmada, cam sanayinde renk gidermede, anorganik kimyasal maddelerin bileşeni olarak, bakır, kurşun alaşımlarında kullanılmaktadır. Element olarak çok kullanılmamasına rağmen tüfek saçmalarına yuvarlak biçim vermek için kurşuna element halinde arsenik katılmaktadır.

Çevre açısından belirli değeri aştığı takdirde risk oluşturan As, Türkiye’de genelde jeotermal kaynaklar ile madencilik faaliyetlerinin yaygın bulunduğu alanları etkisi altına almaktadır. Batı ve Orta Anadolu graben sistemlerinde ve kırık hatlarında jeotermal kaynakların yoğun olması, bu alanlardaki tatlı sularda As yoğunluğunun fazla olduğunu göstermektedir. Arseniğin bu şekilde sulara karışması dolaylı yoldan bitkileri ve hayvanları etkilemektedir. Bitki örtüsünde ağır tahribata neden olmasının yanı sıra, bünyesinde biriken As değeri, besin yoluyla hayvanların ve insanların vücuduna geçerek, vücutta bulunan sınır değerlerinin aşılmasına neden olmaktadır.

Geçmişte As birçok kullanım alanına sahip olmuş; uzun yıllar tıpta kan kanseri tedavisinde, tarımda, yarış atlarında doping etkisi göstermesi için ve veterinerlikte ilaç

olarak kullanılmıştır. Ayrıca geçmiş yıllarda frengi, frengi benzeri ve amipli dizanteri gibi hastalıkların tedavisinde kullanılmıştır. Günümüzde de halen dünya ölçeğinde yılda 75.000-100.000 ton dolayında arsenik üretildiği ve bunun yaklaşık %80'inin tarımsal mücadele ilaçlarında, tomruk ilaçlamasında ve veteriner ilaçlarında kullanıldığı bilinmektedir (Tchounwou vd. 2003). Ancak arseniğin zehirli bir element olduğu çok zaman sonra ve birçok zehirlenme olayının ardından anlaşılmaya başlanmıştır. WHO 1993 yılında ve Avrupa Birliği 1998 de içme suyunda arsenik için sınır değerini 50 µg/l'den 10 µg/l'ye geçici olarak indirmiştir. Bu geçici durum daha sonra birçok ülkede kalıcı değer olarak kabul edilmiştir. Türkiye'de 1997 yılı itibariyle 23144 nolu Resmi Gazete, 'İçilebilir Nitelikte Suların Üretimi, Ambalajlanması, Satışı ve Denetlenmesi Hakkındaki Yönetmelik', 2005 yılında yayınlanan 'İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik' ile 'Yüzeysel Suların Kalitesine Dair Yönetmeliği'ndeki kategorilere göre kalite standartları bakımından arsenik derişiminin 10 µg/l'yi geçmemesi gerektiği belirtilmiştir. İnsanların arsenik ile teması değişik şekillerde olabilmektedir. Arsenik ile kirletilmiş iç ve dış ortam havasının solunması, arsenik değeri yüksek olan yer altı su kaynaklarının kuyu ve çeşmelerden alınarak içilmesi veya kullanılması, altın, gümüş, bakır, kurşun ve boraks gibi madenlerin çıkartılması, fabrikalara taşınması ve arıtılması sırasında, insanlar arseniğe maruz kalmaktadır. Orman ürünlerinin çürümesini önlemek için kesilen ağaçların üzerine püskürtülen arsenikli ilacın havaya yayılması sırasında ve elma, üzüm, incir gibi pamuk ve lifsel yapıda olan ürünlerin üzerine arsenikli ilaç püskürtülmesi sırasında da etki altında kalınabilmektedir. Kömürün ısınma ve termal enerji amacıyla kullanılması sonucu atmosfere ve doğaya karışan As derişimi, bu ortamlarda kurutulan yiyeceklerin besin olarak tüketilmesi gibi birçok yolla insan vücuduna girebilmektedir.

Ayrıca tütün ürünlerinin başta sigara olmak üzere (bir sigarada 12-42 µg arsenik bulunmaktadır) kullanılması sonucunda da insan vücuduna girebilmektedir.

Organik arsenik bileşikler, genelde vücutta daha az değişikliğe uğrar ve daha hızlı vücuttan atılabilmektedir. Ağız yoluyla alınan ve 60 µg/l'den yüksek dozlar ölüme neden olmaktadır. Ölüme neden olmayacak derece düşük olan dozlarda kırmızı ve beyaz kan hücrelerinde azalma, kalp ritim anormallik, kan damarlarında bozukluklar, el ve ayak fonksiyonlarında zayıflık ve ensefalopati görülmektedir(Klaassen 2001). Uzun yıllar arsenik içeren suların içilmesi, altın, çinko, kalay, gümüş gibi minerallerin arıtılması sırasında, yaşanan ortamda ve çevreden arsenik solunmasından kronik arsenik zehirlenmesi olabilmektedir. Kanseri dışındaki zehirli etkileri; hematolojik sistem, üreme ve gelişimsel sistem, damarsal sistem, deri lezyonları, diabetes mellitus ve solunum sistemidir. Kansorejenik etkileri ise; akciğer, mesane, deri, böbrek ve karaciğer olarak sınıflandırılmaktadır (NRC 2001).

-Solunum sistemi hastalıkları: Mesleksel ve çevresel etkileşim ile üst solunum sisteminde, burun bölmesinde delinme, alt-üst solunum yolu enfeksiyonu, akciğerde fibrosis denilen sertleşme, akciğer ödemi ve akciğer kanseri

-Kalp ve damar sistemi hastalıkları: Hipertansiyon, aritmiler, EKG değişiklikleri, ayak damarlarının hasarı ile ayakların siyah renk alması,

-Sindirim sistemi hastalıkları: Su ve gıdalarla vücuda giren arsenik, karaciğer kanseri, karaciğerde hemanjiyosarkom, karaciğer büyümesi, siroz, karaciğer fonksiyonlarında bozulma meydana getirmektedir,

-Merkezi sinir sistemi hastalıkları: Sinir iltihapları, felçler, işitme kaybı, ensefalopati,

-Hematolojik sistem hastalıkları,

-Üreme ve gelişimsel sistem hastalıkları: Düşükler, erken doğum, ölü doğum,

-Endokrin sistemi hastalıkları: Diabetes Mellitus gibi birçok hastalığa neden olmaktadır.

Selenyum (Se)

Havzada bulunan kömürlerde selenyum 0,9-3,7 ppm arasında ve ortalama 2,34 ppm değerinde bulunmaktadır. Selenyumun yer kabuğundaki ortalama derişimi 0,05-0,09 mg/kg, toprakta bulunma derişimi ise 0,4 mg/kg, deniz suyunda bu ortalama değeri 0,09 µg/l, doğal sulardaki derişimi ise tipik olarak 0,1-100 µg/l aralığındadır. Sedimanter kayalarda ve özellikle sülfür ve bakır gibi maden yataklarında yaygın olarak bulunan bir elementtir. Bulundukları mineraller doğada nadir olarak yer alan krutayit, klaushali ve penrosittir. Bölgedeki kömürlerdeki selenyum değeri ortalama sınır değerleriyle karşılaştırıldığında, daha yüksek ortalama değere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kullanım alanları; fotokopi makineleri ve cam endüstrisinde özellikle yakut renkli cam ve mine yapımı olarak örneklendirilebilir. Ayrıca cam ve plastiklerin kırmızı, yakut ve yeşil renge döndürülmesi amacıyla, tıpta saçlı deride kepeklerin giderilmesi, topikal mantara karşı losyon olarak, uçak üretimi aşamasında, çelik yapımında katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Lewis 1990h).

İnsan vücudu 20 mg'a kadar selenyum içermektedir(Sunde 1997). Hava ve sudaki derişimi genelde düşük miktardadır. Bu değerlere karşın günlük alınması gereken miktar 70-100 µg'dır. İnsan vücudunda bulunması gereken, fakat belirli oranlarda bulunması gereken elementlerden olmakla birlikte, vücutta yetersiz bulunduğu taktirde enfeksiyon hastalıklarına yakalanma ihtimalinde artış, görmede zayıflık, kalp rahatsızlığı gibi sağlık sorunları ortaya çıkmaktadır(Gerald 2005; Lindh 2005; Halilova 2004;2009; Atabey 2005;2010). Yani vücutta yeteri kadar bulunmasının sağlığa olumlu sonuçlar gösterdiği ortaya çıkmıştır. Günde 1 mg'dan fazla selenyum alınması sonucu kırılğan saç ve tırnakları da içine alan dermatolojik değişimleri etkileyebildiği ve saç dökülmelerine neden olduğu ortaya çıkmıştır. 5 mg'a yaklaşan sürekli selenyum alımlarında ise deride isilikler, parestezi, zayıflık ve ishale yol açtığı saptanmıştır (Gerald 2005). Epidemiyolojik çalışmalar neticesinde insanlarda selenyum eksikliğinden kaynaklanan kalp rahatsızlıkları riskinin selenyum fazlalığından kayanaklananlara oranla 2-3 kat daha fazla olduğu ortaya konulmuştur.

Ayrıca yüksek selenyumun baş ağrısı ve selenyum nezlesine neden olduğu saptanmıştır (ATSDR 2003).

b) Grup II (B, Be, Cu, F, Mo, Ni, Pb, Th, U, V ve Zn) çevresel hassasiyeti olan elementler

Grup II elementler; Be, Cu, Mo, Ni, Pb, Th, U, V, Zn gibi iz elementlerden oluşmaktadır. Bu elementler yüksek klorlu kömürler olarak bilinmekte, bazı korozyonlara ve atmosferdeki asiditenin artmasına neden olabildikleri için doğadaki miktarları kontrol altında tutulması gereken elementler arasında yer almaktadır. Çalışma alanından alınan örneklerimizin arasında, bunların bir kısmı yüksek çıkarken bir kısmı ise normal değerinin altında çıktığı için dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bölgedeki kömürlerde; Cu, Mo, Ni, U ve V'un ortalama değerlerinin standart sınır değerlerinden daha yüksek değerde bulunduğu tespit edilmiştir.

Bakır (Cu)

Çalışma alanındaki kömürlü birimlerde bakır elementi 4,9-5,7 ppm arasında ve ortalama 29,92 ppm değerinde bulunmaktadır. Bu alanda bulunan kömürlerin, Dünya ortalama sınır değerleri ile bakır içeriği karşılaştırması yapıldığında, tüm standart değerden daha yüksek oranda bulunduğu ortaya çıkmıştır. En fazla bulunduğu mineraller; kalkopirit, kovellin, bornit, kuprit, azurit, malakit ve tetrahedrit olmakla birlikte dünyada yaygın olarak bulunan elementler sınıfında yer almaktadır. Afrika'da sedimanter kökenli olarak bulunan bakır yatakları bazı yerlerde porfiri tip yataklar şeklinde bulunmaktadır.

En önemli kullanım alanları, elektrik ve elektronik sanayileridir. İletkenliği çok yüksektir. Madeni para yapımında ve silah yapımında kullanılan metal alaşımların büyük çoğunluğunda bakır içermektedir. Madencilik kaynaklarında, tarım, katı atıklar ve fabrikalardan gelen sıvılar çevreye dağılan bakırın başlıca kaynaklarıdır.

Bakır madeni çevresindeki pasalardan süzülen yıkanma suları, asit maden drenajına yol açmakta, alıcı nehir ve dere suları kirlenmekte, canlı yaşamı için risk oluşturmaktadır. Zambia bakır kuşağını aşan akarsularda yaşayan canlılarda zehirleyicilerin artışı ve bu sularla beslenen topraklarda yaşayan Maputoland insanların cüceliğin ve eklem hastalıklarının artışı söz konusudur (Nordberg ve Cherian 2004).

İnsan vücudunda yaklaşık 100-150 g kadar bakır elementi bulunmakta olup, bunun %10'u karaciğer ve beyinde, geri kalanı ise kandadır. Kanda, hem plazmaya, hem de alyuvarlara dağılmış halde olup, kanda demir ile beraber hemoglobini oluşturmaktadır(Boz 2004). Günlük vücudun bakır ihtiyacı 2-4 mg'dır. Yetişkinlerin günde besin yoluyla aldığı bakırın 1-2 mg arasında olduğu tahmin edilmekte olup, 2 yaşındaki çocuklarda bu oran 0,6-0,8 mg'dır. Nordber ve Cherian (2004)'a göre, içme suyunda WHO'nun tavsiye ettiği 2 mg/l değer, bakırın %10'unun içme suyundan alındığı varsayımına dayanmaktadır. Şebeke sularındaki bakırın fazla olması boru hatlarındaki korozyon nedenidir. Bakırın insan vücuduna en çok girmesi içme suyu yoluyla olmaktadır. Bakırcılık mesleği ile çalışan insanlarda olumsuz etkileri görülmektedir. Bakırın yaptığı hastalıklar; hemolitik anemi, gözde tahriş, körlüğe gidiş,

akciğer ve karaciğer kanserine yatkınlık ve Wilson Sirozu'dur. Bakır içeren pestisit kullanan işçilerde; karaciğerinde granüloma, akciğer filmlerinde diffüz lineer ve nodüler opasiteler ve sonunda diffüz interstitiel akciğer hastalığına yol açmaktadır (Godner 1990).

Molibden (Mo)

Havzada bulunan kömürlü birimlerde molibden içeriği 0,4-16,9 ppm arasında, ortalama olarak 6,17 ppm değerinde bulunmaktadır. Dünya ortalama sınır değerleriyle yapılan karşılaştırmada Mo, sadece Türkiye kömürlerinin ortalama standart sınır değerinden daha düşük sonuç vermiş, diğer karşılaştırma yapılan standart sınır değerlerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca doğrudan madencilik yoluyla ve bakır madenciliği sırasında yan ürün olarak elde edilen elementlerimizdendir. Yer kabuğunda bulunduğu bazı başlıca mineraller; vulfenit, povellit, molibdenit olarak belirtilebilmektedir. Yapılan birçok çalışmada, kömürde Mo'nin çoğunlukla organik madde ve /veya sülfid mineralleri ile ilişkili olduğunu belirtilmektedir (Querol vd. 1998; Goodarzi 2002).

Molibden uçak ve füze yapımında, filamanlarda, petrol endüstrisinde petrol ürünlerinden organik sülfürün uzaklaştırılmasında katalizör olarak, Mo-99 nükleer izotop endüstrisinde kullanılmaktadır. Ayrıca molibden sarısı olarak bilinen pigment, kırmızımsı sarıdan parlak kırmızıya değişik renkler vermekte olup boya, mürekkep, plastik ve kauçuk bileşenlerinde kullanılmaktadır. Üretilen molibdenin üçte ikisinden fazlası alaşımlarda kullanılmaktadır.

Molibden vücutta en fazla karaciğerde, ayrıca böbrek, adrenalin bezi ve kemikte olmak üzere geniş ölçüde dağılmıştır (Gerald 2005). Vücuda alım düzeyleri bebeklerde 0,015-0,04 mg/gün, 1-10 yaş arası çocuklarda 0,025-0,15 mg/gün ve 10 yaş üzerindeki için 0,075-0,25 mg/gün'dür. Eksikliğinde taşikardi, taşipnea, şiddetli baş ağrısı, gece körlüğü, bulantı ve kusma görülmektedir. Molibden tozu, suda çözünür molibdatlar gibi molibden bileşikle bulunduğu zaman veya ağız yoluyla alındığında hafif derecede zehirleyici olabilmektedirler. Molibdenin yaratacağı akut zehirlenmelerle varsa bile bugüne kadar rastlanmamıştır. Molibdenle bakırın bir araya gelmesi İsveç'te tanımlanan Mus Hastalığına neden olabilmektedir (Nordberg ve Cherian 2004).

Nikel (Ni)

Havzada bulunan kömürlü birimlerde nikel içeriği 22-165 ppm arasında, ortalama olarak da 84,63 ppm değerinde bulunduğu tespit edilmiştir. Türkiye'deki kömürlü birimlerde bulunan nikelin, ortalama sınır değerinden daha düşük değere sahip olmasına rağmen, diğer tüm karşılaştırma yapılan dünya ortalama standart sınır değerlerinden daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Manyetik özelliği olan sert, gümüş beyazı renkli, yumuşak kıvamda, dövülebilir ve şekil alabilen bir elementtir. Yerkabuğunda %0,008 kadarını oluşturan nikel, çekirdeğin derin kısımlarında demir, oksijen, silis ve magnezyumdan sonra en bol bulunan beşinci elementtir. Doğada oksitler, sülfidler ve silikatlar halinde bulunmaktadır (MMO 2012). Temel olarak iki tür maden yatağından elde edilmektedir. İlki temel mineralleri limonit ve garniyerit lateretik yataklardır. İkincisi ana minerali pentlandit

olan magmatik sülfid yataklardır. En önemli nikel mineralleri; milerit, nikelin, garniyerit, pentlandit, anaberit, kloantitdir.

Binalarda, altyapı çalışmalarında, kimyasal üretiminde, haberleşmede, çevre korumada, gıda hazırlamada, su arıtmada ve daha birçok alanda kullanılarak hayatımızın birçok alanında yer almaktadır. Nikelin havaya karşı oksitlenme direnci sayesinde; bozuk para üretiminde, kimyasal araç ve gereçlerin yapımında ve Alman gümüşü gibi birçok alaşımın üretiminde de kullanılmaktadır. Aşınmaya karşı dayanıklı olmasından dolayı elektrolizle kaplama işlerinde tercih edilmektedir.

Nikel, madencilik ve rafinasyon işlemleri ve kentsel atıklar ile atmosfere yayılmaktadır. Nikel içeren takılar deride sağlık sorunları oluşturmaktadır. Orta seviyede zehirleyici bir element olarak bilinmekte, ayrıca nikelin organik formu, inorganik formundan daha zehirleyicidir. Deriyi tahriş etmesinin yanında, kalp ve damar sistemine çok zararlı ve kanserojen bir metaldir. Sınır değeri OSHA PEL 1 mg/m³ TWA'dır. Neden olduğu sağlık sorunları; alerjik kontakt dermatiti, egzama, sinüzit, anosamya, astım, akciğer ve burun kanserinin yanı sıra baş ağrısı, yorgunluk, sindirim sistemi yakınmaları, öksürük, pnömoni ve koma gibi etkileride görülebilmektedir. Havada bulunan nikel bileşiklerinin solunması sonucunda, solunum savunma sistemi ile ilgili olarak; solunum borusu tahrişi, tahribatı, immünolojik değişim, alveoler makrofaj, hücre sayısında artış, silia aktivitesi ve immünite baskısında azalma gibi anormal işlevler oluşabilmektedir (İlhan vd. 2003; Atabey 2005). Atmosferde bulunan nikel uzun süre maruz kalınması insan sağlığına ilişkin güvenilir nitelikte kanıtlar olmasada, nikel işinde çalışan insanlarda astım gibi olumsuz sağlık sorunlarının yanısıra, burun ve gırtlak kanserine de neden olduğu kanıtlanmıştır.

Uranyum (U)

Çalışma alanı kömürlü birimleri uranyum bakımından, Türkiye kömür ortalama sınır değeri hariç, diğer tüm karşılaştırma yapılan sınır değerlerinden daha yüksek değerlerde bulunmaktadır. Şarkikaraağaç Havza'sındaki kömürlü birimlerden elde edilen uranyumun, 0,2-26,5 ppm arasında, ortalama olarakda 8,32 ppm değerine sahip olduğu sonucu elde edilmiştir. Ayrıca antimon, kalay, kadmiyum, cıva, gümüş, arsenik ve molibdenle birlikte bulunabilmektedir.

Bulunduğu başlıca mineraller uraninit, ötinit, karnotit, monazit, torbernit, koffinit, samarskit, uranotil'dir. Fosfatlı kayalarda ve linyit kömürlerinde, monazit kumlarında (%0,1) belirli derişimlerde bulunmaktadır (Emsley 2001).

Kömür içerisindeki uranyum az da olsa bulunmaktadır. Dünya ortalaması ise yaklaşık 1 ppm'dir. Diğer sedimanter kayalarla kıyaslandığında kömür en az uranyum içeren kayaçlardandır. Ancak bazı kömür yataklarında bu değer fazla olabilmektedir. En düşük uranyum birikimi bazaltlarda, en yüksek birikim siyah şeyller ve fosfat kayalarında bulunmaktadır. Uranyum, genellikle az miktarda olmak üzere (16 ppm), kil minerallerinde birikim sağlar. Kömürlerde uranyum değerleri 1-3 ppm arasında değişmekte, kömürün uçucu küllerinde ise bu konsantrasyon 10 kat artmaktadır.

Kömür içerisindeki uranyum organik bileşenlere bağlı bulunmakta ve konsantrasyonu; kömürleşme derecesine, çökelme ortamına, çökelme ortamındaki yer

altı suyunun kimyasal özelliklerine, kömürün altındaki ve üstündeki kayaların ayrışma derecesine bağlı olarak değişmektedir.

Uzun zamandan beri camlara renk verici madde olarak kullanılmış olan uranyum, günümüzde nükleer santrelerde ve nükleer silahların yapımında da kullanılmaktadır. Nükleer güç reaktörlerinde elektrik eldesi için, zırh kaplamalarında ve büyük hava taşıtlarının kanatlarında kullanılmaktadır.

Konvansiyonel uranyum madenlerinde çalışan madencilerin sağlığı büyük risk altındadır. Uranyum cevheri, bedeninin dışında kaldığı sürece, çok az miktarda saf uranyum barındırması sebebiyle, göreceli olarak zararsızdır. Ancak mekanik ayrıştırma yöntemleriyle uranyum cevherinin kendisini çevreleyen kayalardan ayrıştırılması sonucunda madenciler saf uranyum partiküllerine maruz kalmakla birlikte, uranyumun yan ürünü, radyoaktif bir gaz olan radonu solurlar. Uranyum partiküllerinin ve radonun solunması özellikle akciğerleri etkilemektedir. Daha 1920'lerde kanıtlandığı üzere radon gazına maruz kalmak madencilerde bronş ve akciğer kanserlerine (Schneeberger hastalığı) sebep olmaktadır. Uranyum yüksek düzeyde zehirlidir ve böbrekler gibi iç organlara zarar verebilmektedir. Araştırmacılar uranyumun fetüslerde ve bebeklerde kalıtsal bozukluklara sebep olurken lösemi riskinin de arttığını göstermektedir. 2007 yılında, Strahlentelex bilgi servisi; radon, uranyum ve diğer bozulma elementlerine maruz kalmanın sebep olduğu, bilimsel olarak kanıtlanmış hastalıkları sıraladı: bronş ve akciğer kanserleri, lösemi ve diğer kan hastalıkları, ilik, mide, karaciğer, bağırsak, safra kesesi, böbrek ve deri kanserleri, fizyolojik ve kalıtsal bozukluklar olarak belirtilmektedir.

Vanadyum (V)

Havzadaki kömür örneklerinin vanadyum içeriği 13-722 ppm, ortalama olarak da 26,54 ppm değerinde bulunmaktadır. Ortalama değerinin, diğer tüm standart sınır değerleri ile karşılaştırılması sonucu tüm değerlerden daha yüksek sonuca sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Vanadyum, dünyada en bol bulunan elementler arasında 22. sırada yer almaktadır. Yerkabuğunda bulunan vanadyumun oranı yüzde 0,017 civarındadır. En önemli mineralleri; vanadinit, potasyum uaranil vanadat ve vanadyum sülfürdür. Bazı vanadyum mineralleri; patronit, deselemit, karnolit, muskovit olarak belirtilmiştir. Tantal ve niobyum içeren minerallerde de yüksek oranda vanadyum bulunmaktadır.

Ayrıca demir mineralleri yanında da bulunabilmektedir. Fosfat kayaçlarında ve bazı organik kompleks ham petrolerde vanadyum içeriği vardır. Krom (Cr), vanadyum (V), toryum (Th) ve kalay (Sn) genellikle bir arada bulunmaktadır.

Türkiye kömürlerinde özellikle Kangal bölgesi kömürlerinde vanadyum zenginleşmesi izlenmektedir. Bu kömürlerde vanadyumun kökeni organik madde olarak belirtilmiştir (Karayiğit vd. 2000b). Vanadyum kömürlerde kil ile organik madde içinde oluşabilmektedir (Finkelman 1995; Querol vd. 1996; Goodarzi 2002).

Vanadyum ve alaşımlarının kullanıldığı bazı ürünler şunlardır; uçak motor parçaları, lokomotifler, yaylar, dişliler, yapı aletleri, alet takımları, seramik boyaları, camların renklendirilmesi, otomobil parçaları, uzay araçları, nükleer reaktörler, petrol sondaj boruları, yüksek basınçlı gaz boruları, denizaltılar, gözlük camları, zırhlar,

akslar, piston çubukları, krank mili, süper iletken mıknatıslar, aküler, piller, folyolar, levhalar, teller, tüpler vb.'dir.

Vanadyum, canlıların çoğunda bulunan bir mineral olmakla birlikte, canlılardaki bazı enzimlerin etkin bölgesi olarak kullanılmaktadır. Her gün besinlerden yaklaşık 0,01 miligram vanadyum absorbe edilmektedir. Vücutta enzim fonksiyonları, hücresel büyüme ve sinyal süreçlerinde etkileri bulunmaktadır. Vücut geliştirme uygulamalarında vanadyum sülfat içerikli ilaçlar kullanılmaktadır. Kemik ve diş gelişimi için önemli bir maddedir. Vanadyum eksikliğinin yüksek kolesterol ve trigliserid sorununa yol açtığı, kardiyovasküler ve böbrek rahatsızlıklarına sebep olduğu yönünde bazı tespitler bulunmaktadır. Vanadyum, tozlarının teneffüs edilmesi halinde kronik zehirlenmelere yol açabilmektedir. Semptomları; solunum yolu iritasyonu, pnömoni, konjoktivit ve anemi olarak belirtilebilmektedir. Vanadyum peroksit tozu; göz, burun ve boğazda tahrişlere yol açmaktadır. Solunum bozuklukları, felçler, karaciğer ve böbreklerde olumsuz yönde etkileri görülmüştür.

c) Grup III (Ba, Co, Sb, Sn, Tl) çevreye en az zararlı olan elementler

Grup III elementleri, kömür bünyesinde az oranda bulundukları için tehlike yaratması beklenmemektedir. Bu elementler; Ba, Co, Sb, Sn, Tl elementlerinden oluşmaktadır. Toksik element sınıfında Grup III'de yer alan element değerleri dünya standart sınır değerleri ile karşılaştırıldığında; Co'nun kömürde, tüm standart değerlerinden daha yüksek oranda bulunduğu sonucu elde edilmiştir. Diğer yandan Sb, Ba, Sn ve Tl elementlerinin havzadaki kömür içerisindeki değeri, ortalama sınır değerlerinin tümünden daha düşük değerde sonuçlar vermiştir.

Kobalt (Co)

Bölgedeki kömürlerde kobalt içeriği 11,9-105 ppm aralığında, ortalama olarak da 43,62 ppm değerinde bulunmuştur. Dünya kömürlerinde ortalama sınır değerlerinin hepsinden daha yüksek değerde bulunmaktadır. Parlak, kırılğan ve mavi-gri renkte olan bir metaldir. Yerkabuğunun %0,0029'unu oluşturmakta olan bu metal, doğada genellikle arsenik ve nikelle birlikte bulunmaktadır. Bu elementin bulunduğu mineraller; kobaltin, saflorit, glokodot, skutterit, eritrin ve sferokobaltit'dir. Dünyada üretiminin çoğu bakır madenlerinden karşılanmaktadır.

Kullanım alanları; en çok süper alaşım olarak jet motor türbinlerinde ve gaz türbin jeneratörleri olmakla birlikte, malzemelere manyetiklik özelliği kazandırma, aşınmadan korunma ve mekanik özellikleri iyileştirme amacıyla kullanılırken, ayrıca yüksek hız çeliklerinde, takım çeliklerinde, elmas takımlarında ve kesici uçlarda alaşım elementi olarakda kullanılabilir (Kartal vd. 2007). Bileşikleri ise petrol ve seramik endüstrisinde katalizör ve boyalarda pigment, mürekkep ve verniklerde kurutma maddesi olarak değerlendirilmektedir. Porselen ve cam sanayilerinde, kalıcı ve parlak mavi rengin üretilmesinde de kobalt tuzları kullanılmaktadır (Atabey 2015).

Havada bulunan toz halindeki kobaltın solunması ve kobalt tuzlarına deri teması neticesinde kobalt zehirlenmesi gerçekleşmektedir. İnsan vücudundaki normal miktarı 80-300 mg'olarak belirlenmiştir. Toz halinde alınan kobalt, akciğerlerde çözünerek kana ve idrara karışmaktadır. Hayvanlarda yapılan deneylerde ince partiküllerin (20

μm) yarım saatte, kaba partiküllerin ($11 \mu\text{m}$) 3-4 günde yarı yarıya çözüldüğü ortaya konulmuştur. Suda çözünürlüğü olmayan kobaltoksit (Co_3O_4) solunum yolu ile alındığında vücut tarafından çok iyi emilmekte ve hücrelerde bir kaç günde çözünerek kana karışmaktadır. Suda çözünür kobalt bileşikleri ağız yolu ile alındığında %75'i tekrar atılırken geriye kalan kobalt kan, karaciğer, akciğer, böbrek, testisler ve bağırsaklarda toplanmaktadır. Uzun süre kobalt tozuna maruz kalındığında, alerjik tepkilere ve kronik bronşite neden olmasına rağmen kobalt kaynaklı deri tahrişi ve hastalıklar çok nadir gözlenir ve etkisi iki ayrı gruba ayrılmaktadır. Birinci grup; vücudun bazı bölgelerinde meydana gelen kızarıklıklar (eritem) şeklinde; özellikle sıcak havalarda, ellerde kobalt temasından kısa süre sonra oluşmaktadır. İkinci grup; uzun yıllar kobalt bileşikleriyle temas sonucunda ortaya çıkan egzamadır. Kobalt ve kobalt bileşiklerinin insanlar üzerinde kansere neden olduğuna dair henüz kesin bulgular olmamasına rağmen, kobalt bileşikleriyle yinede risk teşkil etmektedirler ve kanserojen madde gibi muamele görürler. Kobalt içeren implant takılan bölgelerde, tümör oluşumuna da rastlanmış ve hayvanlar üzerinde yapılan deneylerde, kobalt metalinin, suda çözünür kobalt bileşiklerinin kansere yol açtığı kanıtlanmıştır.

Kobalt-oksitler (CoO , Co_3O_4), kobaltkarbonat (CoCO_3), kobaltklorürhegzahidrat ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), kobaltnitrathegzahidrat ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2$) ve kobaltasetattetrahidrat ($\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) için akut oral zehirlenme sınırları sırasıyla; 1750, 630, 766, 691 ve 821 mg/kg'dır. Yetersiz kobalt alınımında pernisiyöz (zararlı) anemi ve sinirlerde bozukluk gibi pek çok problemler ve semptomlar ortaya çıkar, ancak yeterli B12 vitamini alınarak etkiler ortadan kaldırılabilmektedir. Vejetaryen insanların yeterli B12 ve kobalt alıp almadıklarına ve yaşanan bölgede toprak seviyesindeki kobalt miktarına bağlı olarak bitkilerde bulunan kobalt miktarının azaldığına özellikle dikkat edilmelidir (Kartal vd. 2007).

4.4.2.2. Kömürlü birimlerde bulunan hava kirletici elementler

Clean Air Act Amendments USA (1990), potansiyel olarak tehlikeli hava kirletici 189 maddeye dikkat çekmiştir. Bu maddeler arasında bulunan 11 inorganik element; As, Be, Cd, Cr, Co, Hg, Pb, Mn, Ni, Sb ve Se olarak belirlenmiş ve kömür kullanımına bağlı olarak antropojenik kaynaklı hava kirleticiler olarak ifade edilmektedir. Şarkıkaraağaç Havza kömürleri için bu elementlerden; As, Cr, Ni, Se ve Co ortalama değerleri standart sınır değerinin üzerinde sonuçlar vermiştir (Çizelge 4.6).

Bu sonuçlar doğrultusunda, kömürün bulunması ve işletilmesi gibi her durumunda, kömür kullanımı hem hava kirletici hem de atık küle geçerek liç olması nedeni ile potansiyel kirletici konumundadır.

Çizelge 4.8. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kömürlü birimlerin, hava kirletici iz elementlerinin analiz sonucu

	As	Ba	Be	Cd	Cu	Co	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Th	U	V	Zn
IS71/66.25	2,9	374	1	<0,1	4,9	87,3	0,02	0,4	38	1,8	<0,1	<0,5	<1	1,2	0,2	26	7
IS71/67.20	11	260	<1	<0,1	6,9	105	0,08	2,7	35	3,2	0,3	0,9	<1	3	1	13	13
IS71/80.30	27,8	101	3	0,1	12,8	42,6	0,01	6,9	46	2,6	0,7	1,3	<1	0,5	3,9	64	16
IS71/83	35,6	235	4	0,3	57,7	35,2	0,06	16,9	165	12,1	1,1	1,5	<1	3,2	18,2	163	29
IS114/173.50	19,1	398	4	<0,1	18,1	11,9	0,06	2,7	22	4,8	0,9	1,7	<1	3,6	7,5	30	20
IS114/174.25	49,1	352	<1	<0,1	18	20,5	0,04	9,1	118	3,9	1,7	2,6	<1	2,4	26,5	30	19
IS105/69.10	4,2	39	<1	0,2	45,6	23	0,04	8,4	118	2	<0,1	3,6	<1	1,7	2,4	722	41
IS105/75.75	0,8	88	2	0,2	49,7	17,6	0,03	1,6	103	3	<0,1	3,7	<1	2,8	2,6	541	42
IS105/77.10	1,2	77	1	0,2	52,9	19,9	0,03	1,9	99	3,9	<0,1	3,5	<1	4,1	2,6	597	40

4.4.2.3. Kayaç Örneklerinin Majör-İz Element Sonuçları

Çalışma alanındaki kömür ve kayaç örneklerinin iz element içeriklerini karşılaştırmak amacıyla 14 kayaç örneğine jeokimyasal analiz yapılmıştır (Çizelge 4.9). Kayaç örneklerinde yapılan analizlerde Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, P, Ti, Mn ve K değerleri doğal olarak havza kömür örneklerine ait ortalama değerlerin üzerinde değerler sunmaktadır.

Havzada açılan kuyulardan belirli derinliklere göre alınmış olan kömürlü ve kayaç örneklerine yapılan ICP-MS analizi sonucunda, içerisinde bulunan iz element miktarlarında değişim meydana geldiği tespit edilmiştir. IS71'nolu kuyuda, kömürlü örnekler ve bu örneklerin taban ve tavanındaki killi kayaç örneğine geçişi ile Ba, Eu, Tb, Ta ve Th elementlerinde artış meydana gelmiştir.

IS114'nolu kuyuda, kömürlü örneklerde ve bu örneklerin taban ve tavanındaki killi kayaç örneğine geçişinde ise Sc, V, Co, Cu, Zn, Ga, Rb, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Pb ve Th elementlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. IS105'nolu kuyuda kayaç örneklerinde artış gösteren iz elementler; Sc, Co, Cu, La, Ba, Ce, Pr, Nb, Hf ve Th olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.9. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kayaç örneklerinin iz element sonuçları

	Be	Sc	V	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Cs	Ba	La	Ce
IS71/51.80	<1	6	51	50,9	49	14,8	21	6,2	1,8	<0,5	37,8	805	8,2	43,3	4,7	1,2	<0,1	<0,1	<1	<0,1	4,4	444	11,6	21
IS71/65.70	<1	<1	<8	82,5	24	2,9	3	<0,5	2,1	<0,5	3,6	644,5	0,9	5,1	0,3	1,6	<0,1	<0,1	<1	<0,1	0,6	400	0,4	1,8
IS71/68.20	1	<1	10	44,9	<20	1,8	7	<0,5	6,3	<0,5	4,8	712,5	1,5	18,7	2,7	2,1	<0,1	<0,1	<1	0,2	0,3	340	1,2	3,9
IS71/69.30	<1	2	9	36,2	34	5,7	6	1,2	5,3	<0,5	11,9	1105,6	2,3	20,6	1,7	1,2	<0,1	<0,1	<1	0,2	1	517	4,1	9
IS71/69.15	2	2	10	37,8	<20	3	4	0,6	3,4	<0,5	10,9	939,8	3,1	17,9	1,5	0,6	<0,1	<0,1	<1	<0,1	1,2	578	4,6	9,2
IS71/81.30	<1	1	<8	11,4	<20	1,8	<1	<0,5	1,5	<0,5	<0,1	1340,3	0,4	2,6	0,2	0,7	<0,1	<0,1	<1	<0,1	<0,1	821	0,6	0,9
IS71/83.45	4	14	126	19	106	18,5	49	12,4	5,3	<0,5	95,6	253	13,2	84,1	11,5	1,5	<0,1	<0,1	2	0,2	6,8	494	21,1	40,5
IS114/172.70	4	24	145	13,6	48	36,4	78	33	6,4	<0,5	240,3	73,9	24,2	119,5	18	0,4	<0,1	<0,1	5	0,4	12,9	795	43,6	84,6
IS114/174	15	23	130	34,1	90	69,2	129	31,2	7,5	<0,5	207,8	90,4	32,8	117,5	18,6	0,5	<0,1	0,2	4	0,6	10,8	948	40,4	82,6
IS114/174.40	2	4	24	20,6	47	8,2	13	3,3	<0,5	<0,5	33,7	688,1	5,1	25,6	3,5	1,2	<0,1	<0,1	<1	0,1	1,9	626	6,6	14,7
IS105/61.70	<1	28	198	46,4	76	52,1	51	13,4	<0,5	<0,5	7,7	432,7	22,3	68,9	8,5	0,1	<0,1	<0,1	<1	<0,1	0,3	68	9,1	19,9
IS105/68.60	2	31	210	49,1	218	85,2	82	19,2	0,6	0,6	26,3	171,9	22,9	142,1	26,9	1,9	<0,1	<0,1	1	<0,1	1,1	98	22,7	45,4
IS105/69.75	1	12	70	21,2	99	23,1	28	8,9	1,6	<0,5	36,4	746,8	10,9	60,7	10,1	1,8	<0,1	<0,1	<1	<0,1	1,7	412	15,4	26,4
IS105/76.10	1	33	311	23	110	56,7	50	12,7	<0,5	1	12,9	36,1	19,2	104,9	13,8	0,1	<0,1	0,2	1	<0,1	1,2	27	13,3	23,9

Çizelge 4.9. Devamı

	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Au**	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U	Ge	In
IS71/51.80	2,5	9	1,9	0,41	1,77	0,26	1,41	0,33	0,86	0,11	0,83	0,09	1,1	0,4	4,7	<0,5	0,03	<0,1	4,9	<0,1	3,6	1,8	<0,1	<0,02
IS71/65.70	0,19	0,6	0,1	<0,02	0,26	0,01	0,12	0,03	0,13	<0,01	0,15	0,03	0,2	<0,1	7,4	<0,5	0,01	<0,1	0,7	<0,1	0,8	2,5	<0,1	<0,02
IS71/68.20	0,45	1,4	0,45	0,07	0,41	0,04	0,18	0,03	0,24	0,03	0,32	0,03	0,5	0,2	5	<0,5	0,03	<0,1	0,8	<0,1	0,3	0,1	<0,1	<0,02
IS71/69.30	0,93	3	0,62	0,13	0,8	0,1	0,6	0,07	0,27	0,03	0,38	0,07	0,7	0,2	7,2	1,4	0,03	<0,1	1,7	<0,1	1,1	0,6	<0,1	<0,02
IS71/69.15	0,92	3,6	0,51	0,17	0,65	0,1	0,57	0,07	0,3	0,04	0,29	0,04	0,3	0,1	8,1	<0,5	0,04	<0,1	1,8	<0,1	1,6	0,8	<0,1	<0,02
IS71/81.30	0,11	0,4	<0,05	0,03	0,22	0,02	0,06	<0,02	0,07	0,01	0,09	-	0,1	<0,1	7,3	<0,5	<0,01	<0,1	0,1	<0,1	<0,2	0,2	<0,1	<0,02
IS71/83.45	4,5	16,7	2,84	0,59	2,52	0,4	2,37	0,55	1,29	0,21	1,39	0,19	2,3	0,8	5,2	<0,5	0,03	0,1	7,6	<0,1	8	2,4	<0,1	<0,02
IS114/172.70	9,18	34,6	5,78	1,18	5,27	0,81	4,39	0,8	2,63	0,39	2,52	0,38	3,1	1	7,4	0,7	0,08	<0,1	18,6	0,5	18,3	4,8	<0,1	<0,02
IS114/174	9,44	35,7	7,88	1,92	8,15	1,27	7,59	1,32	4,08	0,49	3,73	0,51	3,4	1,4	7,7	1	0,04	0,3	25,4	0,5	22,1	11,5	<0,1	0,04
IS114/174.40	1,54	4,9	1,02	0,21	1,21	0,18	0,95	0,17	0,67	0,08	0,62	0,09	0,5	0,2	5,5	<0,5	0,02	<0,1	2,7	<0,1	2,7	1,2	<0,1	<0,02
IS105/61.70	2,41	10,2	2,47	0,91	3,66	0,56	3,77	0,8	2,32	0,31	2,18	0,34	1,8	0,8	17	<0,5	0,02	<0,1	1,2	<0,1	1,2	0,3	<0,1	0,02
IS105/68.60	5,18	21,8	4,91	1,27	4,68	0,74	4,43	0,87	2,44	0,36	2,28	0,37	3,4	1,5	5,6	<0,5	0,02	<0,1	2,6	<0,1	3,4	0,9	<0,1	0,04
IS105/69.75	2,94	13	2,16	0,61	2,12	0,33	2,17	0,43	1,13	0,17	0,99	0,16	1,5	0,6	14,3	0,7	0,04	<0,1	4,5	0,1	2,9	0,9	<0,1	0,02
IS105/76.10	3,28	12,6	2,67	0,87	3,29	0,58	3,72	0,79	2,28	0,34	2,34	0,36	2,6	0,6	2,6	<0,5	0,03	<0,1	3,8	<0,1	3,5	0,7	<0,1	0,04

Kayaç örneklerinin iz element sonuçları, alt veya üstlerinde bulunan kömür örneklerine ait sonuçlar ile birlikte karşılaştırmak amacı ile ayrıca (Çizelge 4.10) sunulmuştur. Karşılaştırılma yapılan örneklerin genelinde kayaç örneklerinde konsantrasyon olarak kömüre nazaran belirgin zenginleşme gösteren iz elementler; Sc, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Th, W, Pb olarak belirlenmiştir. Bu iz elementler arasında toksik etkiye sahip olanların, çevre ve sağlık açısından risk oluşturabileceği anlamına gelmektedir. Toksik elementlerin kayaç örneklerinde, kömürlü örneklerle nazaran daha yoğun miktarda bulunanlar; Ba, Pb, Th ve Zn olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kömür ve kömürün tavan, taban, ara kesmelerinden alınan kayaç örneklerinin, çevreye duyarlı iz element sonuçları

	As	Ba	Be	Cd	Co	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Th	U	V	Zn
IS71/51.80	1,8	444	<1	<0,1	50,9	14,8	0,03	1,2	49	4,9	<0,1	<0,5	<1	3,6	1,8	51	21
IS71/65.70	2,1	400	<1	<0,1	82,5	2,9	0,01	1,6	24	0,7	<0,1	<0,5	<1	0,8	2,5	<8	3
IS71/66.25	2,9	374	1	<0,1	87,3	4,9	0,02	0,4	38	1,8	<0,1	<0,5	<1	1,2	0,2	26	7
IS71/67.20	11	260	<1	<0,1	105	6,9	0,08	2,7	35	3,2	0,3	0,9	<1	3	1	13	13
IS71/68.20	6,3	340	1	<0,1	44,9	1,8	0,03	2,1	<20	0,8	0,2	<0,5	<1	0,3	0,1	10	7
IS71/69.30	5,3	517	<1	<0,1	36,2	5,7	0,03	1,2	34	1,7	0,2	<0,5	<1	1,1	0,6	9	6
IS71/69.15	3,4	578	2	<0,1	37,8	3	0,04	0,6	<20	1,8	<0,1	<0,5	<1	1,6	0,8	10	4
IS71/80.30	27,8	101	3	0,1	42,6	12,8	0,01	6,9	46	2,6	0,7	1,3	<1	0,5	3,9	64	16
IS71/81.30	1,5	821	<1	<0,1	11,4	1,8	<0,01	0,7	<20	0,1	<0,1	<0,5	<1	<0,2	0,2	<8	<1
IS71/83	35,6	235	4	0,3	35,2	57,7	0,06	16,9	165	12,1	1,1	1,5	<1	3,2	18,2	163	29
IS71/83.45	5,3	494	4	<0,1	19	18,5	0,03	1,5	106	7,6	0,2	<0,5	2	8	2,4	126	49
IS114/172.70	6,4	795	4	<0,1	13,6	36,4	0,08	0,4	48	18,6	0,4	<0,5	5	18,3	4,8	145	78
IS114/173.50	19,1	398	4	<0,1	11,9	18,1	0,06	2,7	22	4,8	0,9	1,7	<1	3,6	7,5	30	20
IS114/174	7,5	948	15	0,2	34,1	69,2	0,04	0,5	90	25,4	0,6	<0,5	4	22,1	11,5	130	129
IS114/174.25	49,1	352	<1	<0,1	20,5	18	0,04	9,1	118	3,9	1,7	2,6	<1	2,4	26,5	30	19
IS114/174.40	<0,5	626	2	<0,1	20,6	8,2	0,02	1,2	47	2,7	0,1	<0,5	<1	2,7	1,2	24	13
IS105/61.70	<0,5	68	<1	<0,1	46,4	52,1	0,02	0,1	76	1,2	<0,1	<0,5	<1	1,2	0,3	198	51
IS105/68.60	0,6	98	2	<0,1	49,1	85,2	0,02	1,9	218	2,6	<0,1	0,6	1	3,4	0,9	210	82
IS105/69.10	4,2	39	<1	0,2	23	45,6	0,04	8,4	118	2	<0,1	3,6	<1	1,7	2,4	722	41
IS105/69.75	1,6	412	1	<0,1	21,2	23,1	0,04	1,8	99	4,5	<0,1	<0,5	<1	2,9	0,9	70	28
IS105/75.75	0,8	88	2	0,2	17,6	49,7	0,03	1,6	103	3	<0,1	3,7	<1	2,8	2,6	541	42
IS105/76.10	<0,5	27	1	0,2	23	56,7	0,03	0,1	110	3,8	<0,1	1	1	3,5	0,7	311	50
IS105/77.10	1,2	77	1	0,2	19,9	52,9	0,03	1,9	99	3,9	<0,1	3,5	<1	4,1	2,6	597	40

*Kırmızı renkli olan örnekler kömür, siyah renkli olan örnekler kayaç örnekleri olarak belirlenmiştir

4.4.2.4. Kömür külünün majör-iz element sonuçları

Çalışma alanındaki kömür ve bu kömür örneği yakılarak elde edilen kül örneklerinin, majör ve iz element sonuçları, yakmanın iz element konsantrasyonları üzerindeki etkileri laboratuvar ortamında incelenmiştir. Külün çevre ve insan sağlığı yönünden değerlendirilebilmesi amacıyla, bünyesinde bulunan iz elementlerin durumunda artış olup olmadığı belirlenmiş ve artış gösteren iz elementlerin oluşturabileceği olumsuz durumlar değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda kömür ve küllerine ait major ve iz element analiz sonuçları tabloda (Çizelge 4.11) verilmiştir.

a) Kömürün Yanması Sonucu Oluşan Atıklar

Kömür yakıtlı termik santrallerde, kömür yandığında, yanıcı olmayan maddenin bir kısmı taban külü veya cüruf olarak kazanda kalırken, geriye kalanlar baca gazları ve uçucu iz elementlerle birlikte uçucu kül olarak kazandan ayrılır. Uçucu küller baca gazları ile taşınabilecek kadar küçük olduğundan, elektro filtreye ulaştığında tekrar bir ayrışma olur. Elektro filtreler, uçucu kül parçacıklarını %95–99.5 oranında tutma kapasitesine sahip olmakla birlikte, özellikle 1 mikrondan küçük taneleri ve buharı tutabilmek için yeterli değildir (Klein vd. 1975). Dolayısıyla bu boyuttaki uçucu kül parçacıkları ve buhar, elektro filtreden geçerek, bacadan atmosfere ve çevreye yayılmaktadır. Böylece diğer kaynakların yanı sıra kömürün yanması da atmosferdeki iz element yükünü arttırmaktadır (Andren vd. 1975). Kömürle çalışan termik santraller sadece atmosferin kirlenmesine değil, katı atıkları (uçucu küller ve cüruf) ile çevre ve insan sağlığı açısından da önemli problemler oluşturabilmektedir. Kömürün yanması ile birlikte, kömürün içeriğinde bulunan ve kirliliğe sebep olan As, Cd, Ga, Ge, Pb, Sb, Se, Sn, Mo, Tl ve Zn gibi toksik iz elementler atıklara transfer olmaktadır. Bu atıklardan özellikle uçucu küller elementlerin yüzeylerinde tutunabilecekleri çok uygun ortamlar oluşturmaktadır (Zouboulis ve Tzimou-Tsitouridou 1990; Baba 2000).

Kömürün yanması sonucunda inorganik maddeler ile çok az miktarda yanmamış karbonlu maddeler külleri oluşturmaktadır. Kömürde bulunan ve yanma işlemi sonucu oluşan mineraller 4 grupta toplanmaktadır:

- Alüminasilikatlar (killer)
- Karbonatlar
- Sülfürler
- Silikalar

Yanma işleminin gerçekleşmesi ile yüksek sıcaklık koşullarında, kimyasal olarak fazla değişmeyen silika (kuvars) dışında diğer kömür minerallerinin çoğu bu

aşamada değişime uğramaktadır. Kil mineralleri su kaybederek çeşitli camsı veya kristalin bileşiklere dönüşmektedirler. Karbonatlar, CO_2 , CaO , MgO ve kompleks oksit bileşiklerine dönüşmektedir. Sülfürler büyük oranda metalik oksitler (magnetit, spinel ve hematit) ve SO_2 şeklinde yükseltgenmektedir. Klorürler, buharlaşma ve sülfürizasyon ile HCl ve sülfatlara dönüşürken, kazan alevinde yüksek sıcaklık koşulları altında parçacıklarda, bir dizi karışık fizikokimyasal dönüşümler oluşmaktadır. Parçacıkların erimeleri sırasında etkin olan yüzey gerilim kuvvetlerinin bir sonucu olarak hızla küresel bir yapıya dönüşmekte, ayrıca soğuma hızları parçacık büyüklüğüne bağlı olabilmektedir.

Yanma Sonucu Ortaya Çıkan Uçucu Küller

Uçucu küller, 0.01–0.02 mikron çapa sahip, camsı, çoğunlukla küresel karakterde parçacıklar olup, kömürdeki yanıcı maddelerin büyük bir kısmının yandıktan sonra kalan inorganik malzemesinden oluşmaktadır. Kömürle çalışan termik santrallerde ortaya çıkan uçucu küller, atık olarak bilinen ve termik santrallerde kömürün yanması sonucunda oluşan baca gazları ile taşınarak siklon ve elektro-filtrelerde toplanan önemli bir yan üründür. Dünyada ortaya çıkan uçucu kül miktarı yılda 600 milyon ton olup, ülkemizde faaliyet gösteren 12 termik santrallerden yıllık 13 milyon ton kadar uçucu kül üretimi olmaktadır (Türker vd. 2007).

Yakılan kömürler, çok ince öğütülerek yakıldığı için 3 farklı şekilde kül elde edilebilmektedir;

1. Göreceli olarak iri taneli olup baca gazları ile taşınamayan ve kazan tabanına düşen “taban külü”,
2. Siklon tipi ocaklarda yakılan kömürün suda soğutularak uzaklaştırılması ile elde edilen “ham kül”,
3. Çok ince taneli olup baca gazları ile taşınan “uçucu kül”.

Termik santrallerde en çok kullanılan kül tutma yöntemleri elektrofiltreler ve siklonlardır. Kazan külünün tane boyutunun büyük olduğu durumlarda mekanik tutucular, yani siklon ve benzeri üniteler, tane boyutunun küçük olduğu durumlarda ise en verimli ve ekonomik yöntem olan elektrofiltreler kullanılmaktadır (Kuular 2000).

Uçucu küllerin su ile ıslatılarak çöktürülmesi esasına dayanan nemlendirme yöntemi çok su tüketmekte olup, toplanan küllerin değerlendirilememesi ve yüksek maliyeti sebebiyle pek tercih edilmemektedir. Filtrelerde, ultrasonik çöktürme ve kontrol prosesleri ile 1 μ boyutuna kadar olan uçucu küller yakalanabilmektedir. Bacadan çıkan kül miktarı azaldığı için çevre kirliliğini azaltan bu yöntemlerin yatırım ve işletme maliyetleri çok yüksektir (Kuular 2000).

Uçucu küllerde bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup, bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca MgO , SO_3 , alkali oksitler de kül yapısında minör bileşen olarak bulunmaktadır. Uçucu küllerdeki temel oksitlerden SiO_2 %25–60, Al_2O_3 %10–30, Fe_2O_3 %1–15 ve CaO %1–40 oranlarında bulunmaktadır. Bu farklı aralıklardaki değerler uçucu külün tipini karakterize etmektedir.

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre ASTM C 618 standartları baz alınmaktadır (ASTM C 618, 1998). ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar:

F sınıfına, toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO (reaktif kireç) yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılmaktadır. F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler.

C sınıfı uçucu küller ise toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı %50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda C sınıfı uçucu küllerde $\text{CaO} > \%10$ olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılmaktadır. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğindedir (Baba vd. 2008).

Çizelge 4.11. ASTM C 618 Standartları

Oksit miktarı (%)	F Sınıfı	C sınıfı
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	>70	>50
MgO	<5	<5
SO_3	<5	<5
CaO	<10	>10
Suda çözülebilen alkaliler	<1,5	<1,5

İncelenen kül örneklerinin SiO_2 (%) + Al_2O_3 (%) + Fe_2O_3 (%) değerleri hesaplanarak, bu küllerde bulunan bileşenlerinin (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO) çevresel açıdan incelenmesi için, bölgede bulunan ve atmosfere karışan uçucu kül tipinin ASTM C 618 standardına göre değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışma alanındaki kömürlü birimlerden elde edilen uçucu küller, bölgede açılan IS71'nolu kuyulardaki örneklerde kül tip tayini için net sonuçlar vermemiş ve sağlıklı bir değerlendirme yapılamamıştır. Bu kuyulardan sadece 83'nolu örnekte külün tipi tespit edilmiş ve ASTM C 618 standardına göre F tipi olduğu belirlenmiştir.

IS114'nolu kuyulardan alınan örneklerde standart alınan bileşenlerin toplam değerlerinin sonucu ve CaO değeri baz alınmış, bu alandaki kömürlü birimlerin yanması sonucu oluşan küllerin ASTM C 618 standardına göre F tipi olduğu belirlenmiştir.

IS105'nolu kuyulardan alınmış olan kömürlü birimlerden elde edilen kül örneklerinin, ASTM C 618 standardına göre değerlendirilmesinin sonucunda da F tipi kül sınıfına ait olduğu belirlenmiştir.

TS EN 197-1'e göre uçucu küller silissi (V) veya kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Silissi uçucu külün puzolanik özellikleri vardır. Kalkersi uçucu külün ise hidrolik özelliklerine ilaveten puzolanik özellikleri olabilmektedir.

I. Silissi Uçucu Kül

Silissi uçucu kül çoğunlukla puzolanik özelliklere sahip küresel partiküllerden oluşan, ince bir toz olup, esas olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3)'den oluşmaktadır. Geri kalan kısım ise demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşikleri ihtiva eder. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir.

II. Kalkersi Uçucu Kül

Kalkersi uçucu kül, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup, esas olarak reaktif kalsiyum oksit (CaO), reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3)'den oluşmaktadır. Geri kalan kısım ise demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşikleri ihtiva eder (TS EN 197-1 2002). Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir (Gündeşli 2008).

Bölgedeki uçucu kül örneklerinin TS EN 197-1'e göre silissi (V) veya kalkersi (W) olup olmadığı, yapılan jeokimyasal analizler sonucunda elde edilen bileşenlerin ve elementlerin sonuçlarına göre irdelenmiştir. IS71 ve IS114'nolu kuyularından alınan örneklerden elde edilen sonuçlar, bu standart değerine göre sağlıklı bir sonuç vermemektedir. Bu nedenle bu iki bölgedeki uçucu küllerin silissi ya da kalkersi olup olmadığı hakkında yorumlama yapılamamaktadır. IS105'nolu kuyudan elde edilen uçucu kül örneklerinin içerdiği oksit ve element değerleri sonucunda silissi uçucu kül sınıfında bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Uçucu küllerin mineralojik yapısı, kömürde bulunan minerallere (kil, kuvars, pirit, alçıtaşı, karbonatlar (Ca, Mg, Fe) ve proses (kömür hazırlama ve yanma gibi) koşullarına bağlıdır. Uçucu külün mineralojik yapısı, külün tipine göre değişen dağılımda olmak üzere, camsı (kristalsız) ve kristal yapıli bileşenlerden oluşmaktadır.

Düşük CaO içeren küller başta camsı faz ve minör olarak da kuvars, mullit manyetit, hematit, içermekte; yüksek CaO'lu uçucu küller kuvars, hematit, anhidrit, serbest kireç, gehlenit, mellilit gibi mineraller içermektedir. Bu bileşenlerin yanı sıra

yüksek kireçli küllerde kalsit, portlandit, trisülfoalüminat ve mullitte bulunabilmektedir. Her iki külde de, alkali feldispatlara rastlanmaktadır (Hubbard vd. 1985; Enders 1996).

Uçucu küllerde yer alan elementler litofil ve kalkofil olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır (Klein vd. 1975). Litofil elementler; metal veya sülfid fazında derişmekteyse oksit formunda silikatlarda derişen; Al, Ca, K, Mg, Na, Si gibi elementler ve nadir toprak elementleridir. Kalkofil elementler ise sülfid fazında derişen As, Cd, Ga, Ge, Pb, Sb, Se, Sn, Tl ve Zn gibi elementlerdir. Litofil elementler uçucu olmadıklarından, küllerin matris yapısını oluştururken, uçucu olan kalkofil elementler, matris yapıya girme eğilimi göstermeyerek küllerin yüzeylerinde tutulurlar. Ba, Be, Bi, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, U, V ve W gibi elementler ise kısmen matris yapıda bulunurken, kısmen yüzeyde tutularak geçişli bir davranış gösterirler. Uçucu küllerin matris yapısı temelde alüminyum-silikon-oksijen bileşiklerinden az miktardaki Fe, Mg, Na, K, Ca, Th, Ti gibi elementlerden ve nadir toprak elementlerinden oluşmakta ve alüminosilikatlar, yanma sırasında yok olmamaktadır ve yanma sonunda uçucu hale geçemezler, ayrıca taban külü, cüruf olarak kazanda kalırlar.

Cüruf, yanma sırasında direkt çökelirken, soğuyan uçucu gazlarla uçucu küller temas halinde kalırlar. Cüruf ve uçucu gazlar çok az bir süre temas halinde kaldığından, uçucu elementler cüruf üzerinde yoğunlaşmaya fırsat bulamazlar. Bu nedenle gazlar soğuduğu sırada, kalkofil elementler uçucu kül parçacıklarının üzerinde yoğunlaşırlar. Dolayısıyla bu elementlerin cüruf üzerine yoğunlaşması en az düzeyde olur. Bu iz elementler, cürufa göre küllerde daha çok yoğunlaşırken, taban külüne göre de uçucu küllerde daha yoğun olarak bulunmaktadır (Klein vd. 1975; Norton vd. 1988).

Uçucu küller, toprak örtüsü, yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesinin yanı sıra, atmosfere karışan genellikle 10 µm'den küçük kül parçacıklarının insanların solunum sistemlerine ulaşması nedeniyle sağlık açısından tehdit edici sonuçlar yaratabilmektedir (Baba 2000).

Kömürün yakılması ile oluşan çevresel etkiler: Isıl kirlenme, kömür parçacıklarının saçılması (is oluşturma), sülfür yayılımı, asit yağmuru, sera etkisi, iz element açığa çıkması, toprak ve yörenin estetik güzelliğinin bozulması durumudur (Perçinel 2000).

Yapılan elementel analiz sonucunda uçucu külün yapısındaki inorganik kısımda bulunan kalkofil elementlerde artış olduğu gözlenmiştir. Kalkofil elementlerin (As, Cd, Ga, Ge, Mo, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, Zn vb.) atmosfere karışarak ortalama standart değerlerinin üzerinde bulunması halinde, asit yağmurları şeklinde, yeryüzündeki su kaynaklarında dahil olarak insan sağlığı ve çevresel açıdan risk oluşturmaktadır. Ayrıca ağır metaller ve iz elementlerin iyon miktarları kömürde çok az iken; bu iyonlar yanma sırasında konsantre haline gelmektedir. Yüksek sıcaklıklara (1000-1100°C) çıkılması sabit sülfid formlarının oksitlere dönüşmesine neden olmaktadır. Oksitler suda

çözünmez. Bu durumda kül depolarından gelen üst akış suyunda, kurşun ve arseniğin periyodik iyon konsantrasyon değerlerinin izin verilenin üstünde sonuç verdiği ortaya çıkmıştır. Havayı, rüzgâr ve hava akımları ile depolardan taşınan ince kül parçacıkları kirletmektedir. Termik santraller genellikle nehir kıyılarına kurulmamaktadır. Çünkü bu bölgelerde hava akımları kuvvetli ve sık oluşmaktadır. Hava kirliliğine neden olabilecek yeterli hava hızı 5 m/s'dir. Rüzgâr erozyonundan korunmanın en iyi yöntemi, kül depolarının veya yığınlarının üzerini jeotekstil malzemeyle kaplamak veya kül üzerinde film oluşturacak şekilde emülsiyonlar uygulamaktır (Kuular 2000).

Atmosfere karışan bu elementler, insan sağlığı üzerinde direkt olarak solunuma etki etmektedir. Dolaylı olarak ise yeryüzündeki sulara karışarak bu zehirli elemetlerin derişimlerinin artması, bitkilere, hayvanlara ve tekrar insan vücudunda birçok organa olumsuz etki yaratmaktadır.

Havzadaki kömürlü birimlerden oluşan uçucu küllerdeki toksik elementlerin bazılarında artış meydana gelmiştir. Bu element değerlerindeki artış çevre açısından ve bu doğrultuda uzun süre maruz kalınması halinde insan sağlığı üzerinde birçok problem oluşturacak düzeye gelmektedir. Bu elementler kömür halindeyken normal değerler arasında yer alırken, yakma işlemi sonucunda artarak çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz birçok etki yaratmaktadır. Kömürün yanması sonucunda kimyasal yapısında bulunan iz elementlerden artış gösterenler: Sc, V, Co, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Tm, Yb, Lu, Hf, To, W, Au, Pb, Th, U, Ge ve In olarak sıralanmaktadır (Çizelge 4.11). Bu elementler arasında toksik etkiye sahip olanlar: As, Be, Ba, Co, Cu, Mo, Pb, Sb, Th, V, U ve Zn olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114'nolu kuyulardan alınan kömürün yanması sonucunda oluşan külde, çevreye duyarlı elementlerin analiz sonucu

	Be	Sc	V	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Cs	Ba	La	Ce
IS71-66.25	<1	3	27	21,6	54	13,5	13	2,3	5	<0,5	18,5	1523	3,9	37,2	3,5	1,3	<0,1	<0,1	<1	<0,1	1,6	541	6,1	13,7
IS71-67.20	<1	5	41	45,1	79,9	17,1	39	6,6	29,6	<0,5	50,9	986	8,1	114,3	13,1	8,6	<0,1	<0,1	3	0,7	4,9	782	16,3	33,6
IS71-68.20	2	1	20	46,6	31,7	7,8	17	1,6	19,3	<0,5	11,7	1265	3,2	47,3	6,3	6,2	<0,1	<0,1	<1	0,6	0,9	708	4,7	10,1
IS71-80.30	7	7	316	229,1	379,5	61,4	77	9	189,6	<0,5	33,4	1116,6	5,3	147,1	25	73,8	<0,1	0,3	<1	3,3	3,6	744	10	19,4
IS71-83	4	25	391	108,1	354,0	87,7	70	20,1	51	<0,5	65,9	279,4	14,8	233,3	22,8	33,5	<0,1	0,3	2	1,4	6,5	454	18,9	34,3
IS114-173.5	5	16	108	47,6	70,9	46,9	59	19	55,3	<0,5	133,6	388,2	25,1	89,3	11,3	9,1	<0,1	0,2	3	1,5	9,7	1409	23,1	49,6
IS114-174.25	7	12	120	60,5	373,4	41,7	52	14,7	118,4	<0,5	85,6	398,7	23,9	78,3	10,8	28,1	<0,1	0,2	<1	3,6	7,1	1214	14,3	29,1
IS105-69.10	8	35	1796	52,6	243,3	80,9	84	21,5	12,2	1	25,4	229,2	36,2	163,8	27,6	21,5	<0,1	0,2	1	0,2	2,3	92	27,5	54,1
IS105-75.75	1	38	852	33,8	124,9	45,3	66	16,4	2,8	1	22,3	149,2	42	132,2	17,3	1,9	<0,1	0,2	1	<0,1	2,2	116	14,2	27,7
IS105-77.10	6	40	50	25,2	136	42,9	59	18,5	2,5	0,6	21,3	115,3	45,3	150,9	19,8	1,7	<0,1	0,1	1	<0,1	2,4	88	18,2	33,1

Çizelge 4.12. Devamı

	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Au**	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U	Ge	In
IS71-66.25	1	6	1,19	0,22	1,2	0,14	1	0,15	0,5	0,1	0,47	0,07	1,2	0,3	16,9	18,5	0	<0,1	3	<0,1	1,8	0,4	<0,1	<0,02
IS71-67.20	3	11	1,94	0,29	2,06	0,27	2	0,3	1,08	0,1	1,01	0,15	2,6	0,8	51	91,6	<0,01	<0,1	6	<0,1	7,5	2,8	0,3	<0,02
IS71-68.20	1	4	1,03	0,1	0,87	0,1	1	0,11	0,43	0,1	0,42	0,06	1,1	0,3	38	105	<0,01	<0,1	2	<0,1	1,4	0,9	0,2	<0,02
IS71-80.30	2	7	1,12	0,3	1,15	0,15	1	0,16	0,71	0,1	0,64	0,09	3,4	0,8	203	5,1	<0,01	<0,1	12	<0,1	5	30,1	0,3	0,03
IS71-83	4	15	2,95	0,85	2,96	0,46	3	0,51	1,41	0,2	1,52	0,23	4,6	1,1	58,1	0,6	<0,01	0,3	8	0,2	9	47,8	0,2	0,03
IS114-173.5	6	22	5,05	1,27	5,73	0,84	5	0,86	2,56	0,4	2,56	0,35	2,5	0,6	16,2	1,8	<0,01	0,4	16	0,4	14	25,7	<0,1	0,06
IS114-174.25	3	12	2,65	0,69	3,41	0,53	3	0,7	2,25	0,3	2,02	0,31	2	0,5	14,9	1,4	<0,01	0,3	11	0,4	8,3	102	0,5	0,05
IS105-69.10	6	25	4,49	1,57	5,65	0,88	6	1,05	3,41	0,5	3,22	0,44	3,9	1,6	4,9	<0,5	<0,01	0,1	3	<0,1	5,1	6,1	0,4	0,09
IS105-75.75	4	14	3,77	1,51	5,7	0,97	7	1,58	4,65	0,6	4,17	0,61	3,5	1,1	10,3	<0,5	<0,01	0,2	4	<0,1	4,1	3,7	0,3	0,05
IS105-77.10	4	19	4,58	1,62	5,86	1,06	7	1,61	4,87	0,7	4,53	0,64	3,7	1,4	8,9	<0,5	0	0,2	5	<0,1	5,6	3,9	<0,1	0,07

Çizelge 4.13. Şarkikaraağaç sahasında 71, 105, 114’nolu kuyulardan alınan kömür ve külünde, çevreye duyarlı elementlerin analiz sonuçlarının karşılaştırılması

	As	Ba	Be	Cd	Cu	Co	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Th	U	V	Zn
IS71/66.25	2,9	374	1	<0,1	4,9	87,3	0,02	0,4	38	1,8	<0,1	<0,5	<1	1,2	0,2	26	7
IS71-66.25	5	541	<1	<0,1	13,5	21,6	0,02	1,3	54	3,3	<0,1	<0,5	<1	1,8	0,4	27	13
IS71/67.20	11	260	<1	<0,1	6,9	105	0,08	2,7	35	3,2	0,3	0,9	<1	3	1	13	13
IS71-67.20	29,6	782	<1	<0,1	17,1	45,1	<0,01	8,6	79,9	6,4	0,7	<0,5	3	7,5	2,8	41	39
IS71/80.30	27,8	101	3	0,1	12,8	42,6	0,01	6,9	46	2,6	0,7	1,3	<1	0,5	3,9	64	16
IS71-80.30	189,6	744	7	0,3	61,4	229,1	<0,01	73,8	379,5	11,8	3,3	<0,5	<1	5	30,1	316	77
IS71/83	35,6	235	4	0,3	57,7	35,2	0,06	16,9	165	12,1	1,1	1,5	<1	3,2	18,2	163	29
IS71-83	51	454	4	0,3	87,7	108,1	<0,01	33,5	354,0	7,6	1,4	<0,5	2	9	47,8	391	70
IS114/173.50	19,1	398	4	<0,1	18,1	11,9	0,06	2,7	22	4,8	0,9	1,7	<1	3,6	7,5	30	20
IS114-173.50	55,3	1409	5	0,2	46,9	47,6	<0,01	9,1	70,9	15,5	1,5	<0,5	3	14,1	25,7	108	59
IS114/174.25	49,1	352	<1	<0,1	18	20,5	0,04	9,1	118	3,9	1,7	2,6	<1	2,4	26,5	30	19
IS114-174.25	118,4	1214	7	0,2	41,7	60,5	<0,01	28,1	373,4	11,4	3,6	<0,5	<1	8,3	101,5	120	52
IS105/69.10	4,2	39	<1	0,2	45,6	23	0,04	8,4	118	2	<0,1	3,6	<1	1,7	2,4	722	41
IS105-69.10	12,2	92	8	0,2	80,9	52,6	<0,01	21,5	243,3	2,9	0,2	1	1	5,1	6,1	1796	84
IS105/75.75	0,8	88	2	0,2	49,7	17,6	0,03	1,6	103	3	<0,1	3,7	<1	2,8	2,6	541	42
IS105-75.75	2,8	116	1	0,2	45,3	33,8	<0,01	1,9	124,9	3,6	<0,1	1	1	4,1	3,7	852	66
IS105/77.10	1,2	77	1	0,2	52,9	19,9	0,03	1,9	99	3,9	<0,1	3,5	<1	4,1	2,6	597	40
IS105-77.10	2,5	88	6	0,1	42,9	25,2	0,02	1,7	136	4,8	<0,1	0,6	1	5,6	3,9	50	59

*Kırmızı renkli olan örnekler kömür, siyah renkli olan örnekler kayaç örnekleri olarak belirlenmiştir

5. SONUÇLAR

Çalışma alanında kömür ve tavan, taban, ara kesme kayaç örneklerinin mineralojisi değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda kömürlü birimlerin yarı nicel bolluklarına göre; kalsit, aragonit, kuvars, pirit, dolomit, kil mineralleri, feldispat grubu mineraller, kristobalit, ankerit, mika grubu mineraller (biyotit, muskovit), jips, talk, siderit, arsenopirit, anhidrit içerdiği tespit edilmiştir. Bu örneklerle uygulanan bu analize göre kil mineral içeriğinde; simektit, illit, kaolinit (halloysit, kaolinit), klorit, paligorskit, karışık tabakalı kil mineralleri olduğu tespit edilmiştir.

XRD analiz sonucunda, kayaç örneklerinin yarı nicel bolluklarına göre ve kil mineral analizi sonucuna göre kömür ile benzer içerikte mineral kompozisyonuna sahip olduğu sonucu elde edilmiştir.

Çalışılan alanda kırıntılı malzeme miktarının fazla olması, çevresindeki bölgelerden hemen hemen her dönem havzaya kırıntılı malzeme taşınmış olabileceğinin göstergesidir.

Swaine'ın 1990 yılında yaptığı çevre açısından zararlı olan iz elementler çalışmasındaki sınıflama dikkate alınarak, bölgedeki kömür ve kayaçlarda yer alan iz element değerleri, Dünya ortalama standart sınır değerleri ile karşılaştırılmış ve bu değerlendirme sonucunda, I. grup elementlerinden As ve Se değerinin, bu alanda bulunan kömür ve kayaçlarda daha yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir. Grup II elementlerinin kömür ve kayaçlarda yapılan analiz sonucunda ise iz elementlerden Cu, Mo, Ni, U ve V'un değerlerinin yüksek oranda olduğu ortaya çıkmıştır. Grup III elementlerinde sadece Co değerinin daha yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir.

Havza kömürleri içinde bulunan hava kirletici elementlerden; As, Cr, Ni, Se ve Co'nun ortalama değerleri, karşılaştırma yapılan standart sınır değerinin üzerinde sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, kömürün bulunması ve işletilmesi gibi her aşamada, kömür kullanımı hem hava kirletici hem de atık küle geçerek liç olması nedeni ile potansiyel kirletici konumundadır.

Kayaç örneklerinin iz element sonuçları, kömür örneklerine ait sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılma yapılan verilere göre kayaç örneklerinde konsantrasyon olarak kömüre nazaran belirgin derecede zenginleşme gösteren iz elementler; Sc, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Th, W, Pb 'dur. Bu iz elementler arasında toksik etkiye sahip olanların çevre ve sağlık açısından risk oluşturma ihtimali olanları Ba, Pb, Th ve Zn olarak tespit edilmiştir.

Havzadaki kömürlü birimlerden elde edilen uçucu küller, bölgede açılan IS71'nolu kuyulardaki örneklerde kül tip tayini için net sonuçlar vermemiş ve sağlıklı bir değerlendirme yapılamamıştır. Bu kuyulardan sadece 83'nolu örnekte külün tipi tespit edilmiş ve ASTM C 618 standardına göre F tipi olduğu belirlenmiştir.

IS114 ve IS105'nolu kuyulardan alınan örneklerin, standart alınan bileşenlerin toplam değerleri sonucu ve CaO değeri baz alınarak değerlendirilmiş ve F tipi olduğu sonucu elde edilmiştir.

Bölgedeki kömürlü birimlerin yanması sonucu oluşan uçucu küllerde, iz elementlerin birçoğunda artış meydana gelmiştir. Havzadaki kömürlerden elde edilen küllerin kimyasal yapısında bulunan iz elementlerden artış gösterenler: Sc, V, Co, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Pb, Th ve U olarak sıralanmaktadır. Bu element değerlerindeki artış çevre ve insan sağlığı üzerinde birçok problem oluşturacak düzeydedir. Artış gösteren elementler arasında toksik etkiye sahip olanlar ve külde artış gösterenler: As, Ba, Co, Cu, Mo, Pb, Sb, Th, V, U ve Zn olarak belirlenmiştir.



6. KAYNAKLAR

- Ahmed, W., Alam, S. ve Jahandat, S. 2004. Techniques and methods of organicgeochemistry as applied to petroleum exploration. *Pakistan Journal of Hydrocarbon Research*,14: 69-77.
- Akar, G. 2001. Kömür Külü atık sahalarından oluşacak olan ağır metal kirlenmesinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 84s.
- Akay, E. 1981. Beyşehir yöresindeki (Orta Toroslar) olası Alt Kimmeriyen dağ oluşumu izleri. T.J.K. Bült., C. 24, pp. 25 – 29, Ankara.
- Andren, A. W., Klein, D. H., Talmi, Y. 1975. Se in Coal-fired Steam Plant Emissions, *Environmental Science And Technology*, 9, 9: 856-858.
- ASTM (American Society For Testing And Materials). 1983. Annual book of ASTM standards, Gaseous Fuels; Coal and Coke (D- 388, D-2798- 79, D-3172-73, D-2799-72, D-3174-82, D-3175-82): 1916 Race Street, Philadelphia, PA.
- Atabey, E. 2005. Tıbbi jeoloji, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları No:88, Ankara.
- Atabey, E. 2009a. Türkiye’de Asbest, Eriyonit, Kuvars ve Diğer Minörml Tozları ve Etkileri. MTA Yerbilimleri ve Kültür Serisi: 6, ss. 191. ISBN:978-605-4075-44-7, Ankara.
- Atabey, E. 2009b. Arsenik ve Etkileri. MTA Yerbilimleri ve Kültür serisi: 3, 91 s. ISBN: 978-605-4075-28-7.
- Atabey, E. (2010). Türkiye’de insan kaynaklı (antropojenik) unsurlar ve çevresel etkileri. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yer Bilimleri ve Kültür Serisi 7.
- Atabey, E. (2010). Türkiye’de İçme Suyunda Flor ve Etkileri. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yer Bilimleri ve Kültür Serisi 9.
- Ayhan, A., ve Karadağ, M. 1985. Şarkıkaraağaç (Isparta) Güneyinde Bulunan Boksitli Demir ve Demirli Boksit Yataklarının Jeolojisi ve Oluşumu. *TJK. Bült. C. 28*, 137 – 146.
- ATSDR. 1999. Toxicological profiles for mercury.
- ATSDR. 2003. Toxicological profile for selenium.
- Baba, A. 2000, Yatağan (Muğla) Termik Santral atıklarının çevre jeolojisi açısından incelenmesi. Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Baba, A. 2000a. Leaching characteristics of wastes from Kemerköy (Muğla- Turkey) Power Plant. *Gloabal Nest: The Int.J. Vol 2, No 1*: 51-57.
- Baba, A. 2000b. Muğla-Yeniköy Termik Santral Katı Atıklarının Çevre Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Türkiye 8. Enerji Kongresi, say. ss. 247-258, Ankara.
- Baba, A. 2001. Yatağan (Muğla) Termik Santral Atık Depolama Sahasının Yer altı Sularına Etkisi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, İzmir, Cilt:25 Sayı:2s.

- Baba, A., Save, D., Gündüz, O., Gürdal, G., Bozcu, M., Sülün, S., Özcan, H., Hayran, O., İkışık, H. VE Bakırcı, L. 2008. Çan Kömür Havzasındaki Madencilik Faaliyetlerinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi. ÇAYDAG-106Y041 nolu proje raporu, ss. 479, Çanakkale.
- Baba, A., Gürdal, G., Sengunalp, F., Ozay, O. 2008. Effects Of Leachant Temperature and pH on Leachability Of Metals From Fly Ash. A Case Study: Can Thermal Power Plant, Province Of Çanakkale, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 139: 287-298.
- Boray, A., Şaroğlu, F., ve Emre, Ö. 1985. Isparta Büklümünün Kuzey Kesiminde Doğu – Batı Daralma İçin Bazı Veriler. *Jeoloji Müh. Dergisi*, 9 – 20, Ankara.
- Boz, A. 2004. İnsan Vücudundaki Hazine, www.kimyaokulu.com.
- Bozkır, Y. 2007. Çarıkisaraylar ile Kozluçay (Şarkikaraağaç-Isparta) arasındaki boksitlerin NTE'leri ve oluşum şartları. Yüksek lisans tezi. Selçuk Üniversitesi, Konya, 105p.
- Blumenthal, M. M., 1947, Beyşehir – Seydişehir Hinterlandındaki Toros Dağlarının Jeolojisi. MTA yayını, seri D, 2, 242 s., Ankara.
- Burkhard, M. ve Eggenberger, D. 2001. Near vertical iso-illite crystallinity surfaces cross-cut the recumbent fold structure of the Morcles nappe, Swiss Alps.
- Brunn, J.H., Dumont, J.F., Graciansky, P, DE: Gutnic, M. Juteau, T., Martoux, J., Monod, O ve Poisson, A. 1971. Outline of the Geology of the Western Taurids. In *Geology and History of Turkey*, Compbell (A.S. ed), Petrol Explor, Soci. Of Libya, Tripoli: 225 – 255pp.
- Cengiz, O. ve Kuşcu, M. 1993. Çarıkisaraylar (Şarkikaraağaç-Isparta) Kuzeyinin Jeolojisi Ve Kurşunlu Barit Yatakları. *TJK Bült.*, C.36, S.1: 63 -64.
- Cengiz, O. 1997. Şarkikaraağaç (Isparta) ve Hüyük – Doğanhisar (Konya) Arasındaki Barit Yatakları ve Oluşumu. Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta (Yayımlanmamış).
- Coleman, S.L. and Bragg, L.J., 1990. Distribution and mode of occurrence of arsenic in coal. In: L.L. Chyi and C.-L. Chou (Editors), *Recent Advances in Coal Geochemistry*. Geol. Sot. Am., Spec. Pap., 248, pp. 13-25.
- Creedy, D. P. 1988. Geological controls on the formation and distribution of gas in British coal measures strata. *International Journal of Coal Geology*, 10: 1-31.
- Çancı, B., Güleç, N. ve Erler, A. 1997. Kömür katkılı termik santrallardaki uçucu küllerin çevreye etkisi. Genel Değerlendirme. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 20. Yıl Jeoloji Sempozyumu, ss. 181-187, Konya.
- Çapan, U. 1980. Toeos Kuşağı Ofiyolit Masiflerinin (Marmaris, Merisn, Pozantı, Pınarbaşı, Divriği) iç yapıları, petroloji ve petrokimyasına yaklaşımlar. Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara. 400 s.
- Dai, S. F., Ren, D. Y., Tang, Y.G., Yue, M., Hao, L. M. 2005. Concentration and Distribution of Elements in Late Permian Coals From Western Guizhou Province, China. *International Journal of Coal Geology*, 61: 119-137.

- Dean, W. T. and Monod, O. 1970 The Lower Paleozoic Stratigraphy and Faunas of the Taurus Mountains Near Beyşehir, Turkey, I. *Stratigraphy: Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.) Geol.*, 19: 411- 426.
- Dean W.T. ve Özgül, N. 1979. Orta Toroslar'da Çaltepe Formasyonu'nun Bağbaşı (Hadım-Konya) Yöresindeki Yüzeylemesinde Bulunan Orta Kambriyen Trilobitleri, *MTA dergisi*, 92: 1-7.
- Demirkol, C. 1977. Yalvaç-Akşehir dolayının jeolojisi. Doçentlik tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 114 s. (yayınlanmamış).
- Demirkol, C. ve Sipahi, H., Çiçek, S. 1977. Sultandağının Stratigrafisi ve Jeoloji Evrimi. MTA. Enstitü Raporu, No: 6305 (yayınlanmamış), Ankara.
- Demirkol, C. ve Sipahi, H. 1979. Bağkonak – Çimendere – Muratbağı (Isparta) Yöresinin Jeolojisi. *Jeol. Müh. Dergisi*, S. 7: 29 – 38, Ankara.
- Demirkol, C. 1981. Sultandağ Kuzeybatısının Jeolojisi ve Beyşehir – Hoyran Napı ile ilişkileri: Tübitak Temel Bilimler Araştırma Grubu. Proje No: TBAG 382, (yayınlanmamış).
- Demirkol, C., ve Yetiş, C. 1985. Sultandağ Kuzeybatısındaki Allokon Birimler Ve Jeoloji Evrimi. *Jeol. Müh. Dergisi*, 22: 3 -10, Ankara.
- Demirkol, C. 1986. Sultandağ ve dolayının tektoniği. Yüksek lisans tezi ,Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Demir, İ. 2009. Kömür hazırlama teknikleri kullanılarak Türkiye'deki kömürlerin iz element içerikleri açısından değerlendirme olanaklarının araştırılması. Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 203s.
- Desparies A. ve Gutnic, M. 1972. Les Gres Rouges au Sommet du Paleozoique du Masif du Sultandağ et les Niveaux Ferra Litiques de la Couverture Mesozoique (NE du Taurus occidentale, Turquie); *Bull. De la. Soc. Geol. De France*, ser. 7, Tem, 12, no:3: 505-514.
- Ding, Z. H., Zheng, B. S., Long, J. P., Belkin, H. E., Finkelman, R. B., Chen, C. G., Zhou, D. X., ZhoU, Y. S. 2001. Geological and geochemical characteristics of high arsenic coals from endemic arsenosis areas in southwestern Guizhou Province, China. *Applied Geochemistry* 16: 1353-1360.
- DSİ, 1975, Şarkikaraağaç Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu, Isparta
- Dumont, J. F. ve Kerey, E. 1975. Eğirdir Gölü Güneyinin Temel Jeolojik Etüdü. *TJK Bült.*, 18/2, ss. 169 – 174.
- Durand, 2003. A history of organic geochemistry. *Oi, and Gas Science and Technology- Revue IFP*, volume 58/2, pp. 203-231.
- Eınsele, G. 1992. Sedimentary Basins. Springer-Veriag, 628p.
- Elitok, Ö. 2000. Şarkikaraağaç (Isparta) Ve Çevresinin Jeoloji, Mineroloji Ve Petrografisi. Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta (yayınlanmamış).

- Emsley, J. 2001. *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford, Emsley, J. 2003. "Osmium". *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford, England, UK: Oxford University Press, pp. 199-201. ISBN 0-19-850340-7.
- Eren, Y. 1990. Engilli (Akşehir) Ve Bağkonak (Yalvaç) Köyleri Arasında Sultandağları Masifinin Tektonik Özellikleri. *TJK. Bült.*, C.33, ss. 39 – 50.
- Erişen, B. 1972. Afyon – Heybeli (Kızılkilise) Jeotermal Araştırma Sahasının Jeolojisi Ve Jeotermal Enerji Olanakları. MTA Arşivi, Rapor No: 3107, Ankara.
- Finkelman, R.B. 1994a. Modes of occurrence of potentially hazardous elements in coal: level of confidence. *Fuel Processing Technology*, 39 (1-3): 21-34.
- Finkelman, R. B. 1994b. The use of modes of occurrence information to predict the removal of the hazardous air pollutants. *International Journal of Coal Geology* 124: 132-134.
- Finkelman, R.B. 1995. Modes of occurrences of environmentally-sensitive trace elements in coal. In: *Environmental Aspects of Trace Elements in Coal*. Swaine, D. J., Goodarzi, F. (eds), The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 24-44.
- Finkelman, R.B. and Gross, P.M.K. 1999. The types of data needed for assessing the environmental and human health impacts of coal. *International Journal of Coal Geology*, 40: 91-101.
- Finkelman, R. B. 2004. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks. *Int. J. Coal Geol.* 59, 1-2: 19-24.
- Frey, M. 1970. The step from diagenesis to Metamorphism Pelitic Rocks, during Alpine Orogenesis, *Sedimentology*, 15: 261-279.
- Gerald, F. C. Jr. 2005. Geological impacts on nutrition.. *Medical Geology* (Eds. O. Selinus, B. Alloway, J. A. Centone, R. B. Finkelman, R. Fuge, U. Lindh ve P. Smedley), Chapter, 7, pp. 161-177.
- Gluskoter, H.J., Ruch, R.R., Miller, W.G., Cahill, R.A., Dreher, G.B., Kuhn, J.K. 1977. Trace elements in coal: Occurrence and distribution. III. State Geol. Surv. Circ. No. 499, 154 p.
- Godner, E. 1990. Eye injuries. Intraocular foreign bodies. In:Edt. La Dou J.
- Goodarzi, F. 2002. Mineralogy, elemental composition and modes of occurrence of elements in Canadian feed-coals. *Fuel* 81:1199-1213.
- Gündeşli, U. 2008. Uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufunun beton ve çimento katkısı olarak kullanımı üzerine bir kaynak taraması. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 71s.
- Halilova, H. 2004. Mikroelementlerin (I, Zn, Co, Mn, Cu, Se) biyojeokimyası. İlke-Emek yayınları, 110s. Ankara.
- Halilova, H. 2009. Doğadan gelen sağlık. Palme yayınları:492.128s. ISBN:978-605-5829-02-5. Ankara.

- Hansen, L. D. ve Fisher, G. L. 1980. Elemental Distribution in Coal Fly Ash Particals, *Environmental Science and Technology*, 14, 9:1111-1117.
- Haude, H. 1972. Stratigraphie und Tectonic des Südlichen Sultandağ (SW Anatolien): *Zeit. Deutsch. Geol. Ges.*, 123: 411-421.
- Hayatsu, R. 1978. Trapped organic compounds and aromatic units in coals. *Fuel*, 57:541p.
- Huang J, et al. (2004) Finding new components of the target of rapamycin (TOR) signaling network through chemical genetics and proteome chips. *Proc Natl Acad Sci U S A* 101(47),16594-9.
- Hubbart, F. H. 1985. Pulverized Fly Ash For Concrete: Compositional Characterization of UK PFA, *Cement And Concrete Research*, C. 15, No. 1, 185-198pp.
- Huggins, F.E., Huffman, G. 1996. Modes of occurrence of trace elements in coal from Xafs spectroscopy. *Int. J. Coal Geol.* 32: 31-53.
- Hunt, J. M. 1996. Petroleum geochemistry and geology (2nd ed.). W. H. Freeman and Company, New York, 743p.
- İlhan, A.İ., Dündar, C., Öz, N. ve Kılınç, H., 2003. Hava kirliliği ve asit yağmurlarının çevre ve insan sağlığı üzerinde etkileri. www.meteor.gov.tr/havakirliligi.
- Karayığit, A. I., M.K.G. Whateley. 1997. Properties of a lacustrine subbituminous (kl) seam, with special reference to the contact metamorphism, Soma-Turkey, *International Journal of Coal Geology*, 34: 131-155.
- Karayığit, A. I., Gayer, R. A., Querol, X., Onoacak, T. 2000a. Contents of major and trace elements in feed coals from Turkish coal-fired power plants. *International Journal of Coal Geology* 44 (2): 169-184.
- Karayığit, A. I., Spears, D. A., Booth, C. A. 2000b. Antimony and arsenic in the coal seams from Gökler Coalfield, Gediz, Turkey. *International Journal of Coal Geology* 44(1): 1-17.
- Karayığit A.I., Spears, D.A., Booth, C.A. 2000c. Distribution of environmental sensitive trace elements in the Eocene Sorgun Coals, Gediz, Turkey. *International Journal of Coal Geology* 42 (4): 297-314.
- Kartal, G., Güven, A., Kahvecioğlu, Ö. ve Timur, S. 2007. Metallerin çevresel etkileri III www.metalurji.org.tr7source/dergi.
- Killops, V. J. 2005. Introduction to Organic Geochemistry. Blackwell Publishing, Second editor 393p.
- Kıran, D. 2004. Şarkikaraağaç-Isparta ve Çevresindeki Barit Cevherleşmelerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 116 s.
- Klaassen, C. D. (ED.). 2001. Casarett and Doull's toxicology. The basic science of poisons. Sixth Edition. McGraw-Hill. Medical Publishing Division, New York.
- Klein, D. H., Andren, A. W., Carter, J. A., Emery, J. F., Feldman, C., Fulkerson, W., Lyon, W. S., Ogle, J. G., Talmi, Y., Van Hooh, R. I., Bolton, N. 1975. Pathways of Thirty Seven Trace Elements Through Coal-fired Power Plant, *Environmental Science and Technology*, 9, 10: 973-978.

- Koca, D., Sarı, A., Koç, Ş., Yavuz, B., Koralay, B. 2009. Denizel Kaynak Kayalarda Ana ve İz Element Zenginleşmelerine Türkiye'den bir Örnek: Akkuyu Formasyonu, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25: 243-256.
- Koçyiğit, A. 1981. Isparta Büklümünde (Batı Toroslar) Toros Karbonat Platformunun Evrimi. *TJK. Bült.*, 24/ 2: 15 – 23.
- Koçyiğit, A. 1984. Güneybatı Türkiye ve Yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 27: 1 -16.
- Kuular, E. 2000. Çayırhan Termik Santrali Küllerinin Değerlendirilmesi, Lisans Bitirme Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- Kural, O. 1991. Kömür, İstanbul.
- Kural O. 1998. Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul, 785 s.
- Kuşcu, M., ve Aydoğan S. 2003. Koruyaka Ve Göksöğüt (Yalvaç-Isparta) Plaketli Kireçtaşlarının Yapıtaşı Olarak Kullanılabilirlikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enst. Dergisi*, cilt:7, sayı:2, pp. 283-292.
- Lewis, R. 1990h. Metals Selenium In. Edt. Landou, L. Occupational Medicine Prentice-Hall Int.Inc London. pp. 324-326.
- Lindh, U. 2005. Biological functions of the elements. (Eds. O. Selinus, B. Alloway, J. A. Centone, R. B. Finkelman, R. Fuge, U. Lindh ve P. Smedley), Chapter, 6, Elsevier, Amsterdam. pp. 115-160.
- Mackowsky, M. T. 1968. Mineral matter in coal, in Coal and Coal Bearing Strata, edited by Duncan Murchison and T. Stanley Westoll, pp. 309-321.
- Monod, O. 1967. Batı Toros Kireçtaşlarının Temelindeki Seydişehir Şistlerinde Bulunan Ordovisiyen Bir Fauna. MTA Enst. Yayını, s. 69, 76s.
- Monod, O. 1977. Recherches Geologiques Dans Le Taurus Occidental Au Sud De Beyşehir (Turquie). These, Univ. Paris – sud.,Orsay, 422 p.
- MTA Raporu, 1987, Sultandağı güneydoğusu ile Anamasdağı dolayının jeolojisi, MTA Genel Müd. Jeol. Etüdler Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Norton, G. A., Malaby, K. ve Dekalb, E. L. 1988. Chemical Characterization Of Ash Produced During Combustion of Refuse-Derived Fuel With Coal, *Environmental Science and Technology*, 22, 11: 1279-1283.
- NRC, 2001. Arsenic in drinking water. 2001 Update, Washington, DC:National Academic Pres. pp. 24-74.
- Öncel, M.S. 1995. Şarkikaraağaç-Yalvaç (Isparta) arasının jeolojisi ve boksit zuhurlarının mineralojik, petrografik, jeokimyasal incelemesi. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 147 s.
- Örmeci, S. 2005. Şarkikaraağaç Havzası'nın (Isparta) Hidrojeoloji İncelemesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 109 s.

- Özgül, N., ve Gedik, İ. 1973. Orta Toroslar' Da Alt Paleozoyik Yaşta Çaltepekiçreçtaşı Ve Seydişehir Formasyonu' Nun Startigrafisi Ve Konodont Faunası Hakkında Yeni Bilgiler. TJK Bült., Cilt. XVI., Sayı:2.
- Özgül, N. 1976. Torosların Bazı Temel Jeolojik Özellikleri. *Türk, ye Jeol. Kur. Bült.*, 19: 65 – 78.
- Özgül, N., Bölükbaşı, S., Aklan, H., Öztaş, H., ve Korucu, M. 1991. Göller Bölgesinin Tektono – Stratigrafik Birlikleri. Ozan Sungurlu Semp. Bild. (ed. S. Turgut), Kasım – 1991, pp. 213 -237.
- Öztürk, E.M., Öztürk, Z., Acar, Ş., Ayaroğlu, A. 1981. Şarkikaraağaç (Isparta) Ve Dolayının Jeolojisi. MTA., Enst., Raporu, N. 7045, 190 s. (yayınlanmamış).
- Öztürk, E. M., Dalkılıç, H., Ergin, A., Afşar, Ö.P. 1987.Sultandağı güneydoğusu ile Anamasdağ dolayının jeolojisi. M.T.A. Rapor No:8191 (Yayınlanmamış).
- Özyurt, Z. 2006. Termik Santral Atıklarındaki İz Elementlerin Çevresel Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 75 s.
- Patison, N. L., Berry, R. F., Davidson, G. J., Taylor, B. R., Bottrill, R. S., Manzi, B., Ryba, J ve Shepherd, R. E. 2001. Regional metamorphism of the Mathinne Group, northeast Tasmania. *Australian Journal of Earth Sciences*, 48/ 2, 281p.
- Perçinel, S. 2000. Termik Santrallerde Kömür Kullanımının İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri, Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildirileri Kitabı, Zonguldak, ss. 23-26.
- Poisson, A. 1977. Recherces Geologiques Dans Les Taurides Occidentales (Turquie). These de Etat., Univ., Paris – Sud., Orsay, 795 p.
- Querol, X., Cabrera, LL., Pickel, W., Fern'Andez-TURİel, J.L., Hagemann, H.W. and Lo'Pez-Soler, A. 1996.Controls on the quality of the Mequinenza Coal Deposit, NE Spain. *International Journal of Coal Geology*, 29: 67–91.
- Querol, X., Finkelman, R.B., Alastuey, A., Huerta, A., PalmeR, C.A., Mroczkowski, S., Kolker, A., Chenery, S.N.R., Robinson, J.J., juan, R. and Lo'Pez-Soler, A. 1998. Quantitative determination of modes of occurrence of major, minor and trace elements in coal: Comparison of results from different methods. AIE 8th Australian Coal Science Conference, Proceedings, pp. 51–56.
- Rieder, M., Crelling, J.C., Sustai, O., Drabek, M., Weiss, Z., Klementova, M. 2007. Arsenic in iron disulfides in a brown coal from the North Bohemian Basin, Czech Republic, *International Journal of Coal Geology*. 71: 115-121.
- Sarı, A. and Geze, Y. 2008. Organic geochemical evaluations of bituminous rock and coals in Miocene Himmetoglu Basin (Bolu, Turkey). *Petroleum Science and Technology*, Vol.: 649–664.
- Sarı, A., Koca, D., Koç, Ş., Yavuz, B. ve Koralay, D.B. 2008. Üst Jura denizel fasiyeslerinde iz element birikimlerinde organik madde içeriğinin rolü (Orta Toroslar, Türkiye). Selçuk Üniversitesi Mühendislik - *Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 23: 43–56.
- Soyaslan, İ. 2004. Eğirdir Gölü doğusunun hidrojeoloji incelemesi ve yeraltısuyu modellemesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Doktora tezi, Isparta, 278s (yayınlanmamış).

- Speight, J. G. 1983. The chemistry and technology of coal, first ed., Marcel Dekker, INC., New York (USA).
- Sunde, R. A. 1997. Selenium. In Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements (B. L. O'Dell and R. A. Sunde, Eds.). Marcel Dekker, New York, Chapter 18, pp. 493-556.
- Sungur, Avcıkoru (İstanbul) bölgesi kömür ve kül sahalarındaki yeraltı ve yüzey sularının hidrojeokimyasal özellikleri ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 93 s.
- Swaine, D.J. 1990. Trace Elements in Coal. Butterworths, London, 290 p.
- Swaine, D.J., Goodarzi, F.(Eds) 1995. Environmental aspect of trace elements in coal. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, 312 p.
- Şenel, M., gedik, İ., Dalkılıç, H., Serdaroğlu, M., Bilgin, A.Z., Uğuz, F., Bölükbaşı, K., Korucu, M. ve Özgül, N. 1996. Isparta büklümü doğusunda otokton ve allokon birimlerin stratigrafisi (Batı Toroslar). *MTA dergisi*, 118: 111 – 160.
- Tchounwou, P. B., Patlolla, A. K. ve Centone, J. A. 2003. Carcinogenic and sytemic health effects associated with arsenic exposure, a critical rewiev, *Toxicologic Pathology*, 31: 575- 588.
- Tucker, M. E. 1991. Sedimentary Petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 260p.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katraş, F. ve Yeğinobalı, A. 2007. Türkiye’de ki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, Ar-Ge Enstitüsü, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- Ünalın, G. 2010. Kömür Jeolojisi, M.T.A. Yayınları, Ankara, 595 s.
- Ünsal, A. 2010. Seydişehir (Konya) ve Şarkikaraağaç (Isparta) yöresindeki Seydişehir Formasyonu’ nun jeolojik ve jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 71 s.
- Van Krevelen, D. W. 1961. Coal: Typology-Chemistry-Physics-Constitution. Elsevier Publishing Co., Amsterdam, London, New York, Princeton, 514p.
- Ward, C. R. 1984. Coal geology and coal technology. Blackwell, London. 345 p.
- Ward, R.C. 2002. Analysis and significance of mineral matter in coal seams. *International Journal of Coal Geology*, 50 (1-4): 135-168.
- XU, M.,Yan, R., Zheng, C. 2003. Status of trace element emission in a coal combustion process: a review. *Fuel Processing Technology*, Vol.85, 215-237.
- Yağmurlu, F. 1991. Yalvaç – Yarıkkaya Neojen Havzasının Stratigrafisi Ve Depolama Ortamları. Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt: 34, S, 9 -19, Ankara.
- Yudovich, YA. E. ve Ketris, M.P. 2006. Arsenic in coal: a review. *Int. J. Coal Geol.* 61: 141- 196.
- Zheng, B., Ding, Z., Huang, R., Zhu, J.,YU ,X.,Wang, A., Zhou D., M, Dajun., S, Hongcan. 1999. Issues of health and relating to coal use in southwestern China. *International Journal of Coal Geology*, 40: 119-132.

Zouboulis, A.I., Tzimou-Tsitouridou, R. 1990. Fly Ash Utilization in Environmental Engineering The Case of Greece, Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Mining Wastes, Rainbow, Balkema, Rotterdam, pp. 493-499.



ÖZGEÇMİŞ

AYŞE YILMAZ

ayse_yilmz@hotmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2014-2018	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
2007-2011	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çanakkale