

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ŞARKIKARAAĞAÇ (ISPARTA) KÖMÜRLERİNİN ORGANİK JEOKİMYASI  
VE İZ ELEMENT DAĞILIMI**

**Neslihan ÜNAL**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**TEMMUZ 2018**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ŞARKIKARAAĞAÇ (ISPARTA) KÖMÜRLERİNİN ORGANİK JEOKİMYASI  
VE İZ ELEMENT DAĞILIMI**

**Neslihan ÜNAL**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**TEMMUZ 2018**

**ANTALYA**

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

**ŞARKIKARAAĞAÇ (ISPARTA) KÖMÜRLERİNİN ORGANİK JEOKİMYASI  
VE İZ ELEMENT DAĞILIMI**

**Neslihan ÜNAL  
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
DOKTORA TEZİ**

**Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi  
tarafından FDK-2016-1624 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**TEMMUZ 2018**

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞARKIKARAAĞAÇ (ISPARTA) KÖMÜRLERİNİN ORGANİK JEOKİMYASI  
VE İZ ELEMENT DAĞILIMI

Neslihan ÜNAL  
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
DOKTORA TEZİ

Bu tez 27.10.2018... tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

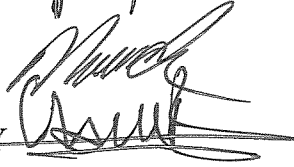
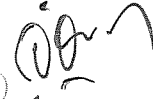
Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK (Danışman)

Prof. Dr. Fuzuli YAĞMURLU

Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY

Prof. Dr. Reyhan KARA GÜLBAY

Doç. Dr. Sibel TATAR ERKÜL



## ÖZET

### ŞARKIKARAAĞAÇ (ISPARTA) KÖMÜRLERİNİN ORGANİK JEOKİMYASI VE İZ ELEMENT DAĞILIMI

Neslihan ÜNAL

Doktora Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK

Temmuz 2018; 118 sayfa

Çalışma alanı Şarkikaraağaç İlçesi (Isparta-Türkiye) sınırlarında yer almaktadır. Havzada Neojen birimleri konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası, çamurtaşı, kömür, marn ve kireçtaşından oluşmaktadır. Kömürlü birimler, metamorfik kayaçlar, ofiyolitler ve karbonatlardan oluşan Neojen öncesi birimleri uyumsuz olarak üzerler. Bu çalışmanın amacı, Şarkikaraağaç Havzasındaki Neojen yaşlı kömürlü birimlerin, organik jeokimyasal, organik petrografik özelliklerini ve iz element dağılımlarını belirlemektir.

Toplam organik karbon değerleri (TOC) % 10,19-47,05; hidrojen indeksi değerleri (HI) 73-292 mg HC/g TOC ve Tmax değerleri 398-443 °C arasında değişmektedir. Rock-Eval analizi ve organik petrografik çalışmalar ile kerojen tipi III olarak belirlenmiştir. Organik fasiyes çalışmalarına göre fasiyes tipi C-CD'dir. Organik madde tipi baskın olarak odunsudur, buna düşük miktarlarda otsu ve kömürsü materyal eşlik eder.

Şarkikaraağaç kömürlerinin hüminit yansıma ölçümleri 0,28-0,29 % Ro arasındadır ve olgunlaşmamış organik maddeyi ifade eder. Bu değerlere göre kömür sınıfı linyit (yumuşak kahverengi kömür) olarak belirlenmiştir. Hüminitler (% 38-91) çalışma alanındaki en baskın maseral grubunu oluşturur. Daha düşük miktarlarda liptinit (% 2-55) ve inertinit (% 5-23) grubu maserallerine de rastlanılmaktadır. Maseral analizi sonuçlarına göre linyitler limnik-limnotematik bataklık zonlarında oluşmuşlardır.

Kömür örneklerinin XRD analizinde amorf madde dışında kalsit, kuvars, pirit, feldispat mineralleri, plajiyoklaz mineralleri, mika mineralleri, dolomit, aragonit, kristobalit, siderit, ankerit, analsim ve kil mineralleri belirlenmiştir. Havzadaki kil mineralleri illit, smektit, kaolinit ve kloritten oluşmaktadır.

Ana-iz element analizlerine göre çalışma alanında Mg, Ca, P ve iz elementlerde de Ni, Sc, Co, Cs, Hf, Sr, U, V, W, Cu, Pb, As, Ag, Se zenginleşmiştir. Havzadaki element zenginleşmeleri büyük ölçüde inorganik kökenlidir. Jeokimyasal parametrelere göre incelenen örneklerin depolanma ortamı redoks koşullarının genelde anoksik, çok az disoksik ortam koşullarını yansıttığı belirlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** İz element, Kömür, Organik jeokimya, Organik petrografi, Şarkikaraağaç

**JÜRİ:** Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK

Prof. Dr. Fuzuli YAĞMURLU

Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY

Prof. Dr. Reyhan KARA GÜLBAY

Doç. Dr. Sibel TATAR ERKÜL

## ABSTRACT

### ORGANIC GEOCHEMISTRY AND TRACE ELEMENT DISTRIBUTION OF ŞARKİKARAAĞAÇ (ISPARTA) COALS

Neslihan ÜNAL

PhD Thesis in Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK

July 2017; 118 pages

The investigated area is located Şarkikaraağaç (Isparta-Turkey). The Neogene units in the basin consist of conglomerate, sandstone, siltstone, mudstone, claystone, coal, marl and limestone. The coaly unit, unconformably overlies pre-Neogene units including metamorphic rocks, ophiolites and carbonates. The purpose of this work is to characterize the organic geochemistry, organic petrography and trace element distribution of the Neogene coaly rocks of the Şarkikaraağaç basin.

Total organic carbon (TOC) values are between 10.19-47.05 %, hydrogen index (HI) values vary between 73-292 mg HC/g TOC and Tmax values vary between 398-443 °C. Kerogen in the deposits is type III, as indicated by organic petrographic observations and Rock-Eval data. Facies C and CD was determined according to the organic facies evaluation. Organic matter is composed predominantly of woody material, with a minor contribution of planty and coaly material.

Huminite reflectances measured on the coal samples between 0.28-0.29 %Ro and it shows that immaturity stage. These values indicate that coal rank can be classified as lignite (soft brown coal). Huminite is the most abundant maceral group (38-91 %). Small amounts of liptinite (2-55 %) and inertinite (5-23 %) are observed within the coals. According to the maseal analysis, the coals are formed in limnic to limno-telmatic, marsh zone.

Calcite, quartz, pyrite, feldspar minerals, plagioclase minerals, mica minerals, gypsum, dolomite, aragonite, cristobalite, siderite, ankerite, analcime, clay minerals except for amorphous matters were determined in the coal samples with XRD. Clay minerals identified in the basin were illite, smectite, kaolinite and chlorite.

According to the major-trace element evaluations, Mg, Ca, P and for trace elements, like Ni, Sc, Co, Cs, Hf, Sr, U, V, W, Cu, Pb, As, Ag, Se elements were enriched in study area. Element enrichment in the basin is mostly of inorganic origin. As results of geochemical parameters show that the deposition environments indicate more anoxic redox conditions with less disoxic conditions.

**KEYWORDS:** Coal, Organic geochemistry, Organic petrography, Şarkikaraağaç, Trace element

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK

Prof. Dr. Fuzuli YAĞMURLU

Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY

Prof. Dr. Reyhan KARA GÜLBAY

Doç. Dr. Sibel TATAR ERKÜL



## ÖNSÖZ

Günümüz koşullarında enerji insanoğlunun en temel gereksinimlerinden biridir. Artan nüfus artışı ve teknolojik ilerlemelere paralel olarak, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de her geçen gün enerji ihtiyacı artmaktadır. Üretilen enerjinin, enerji talebini karşılayamaması ülkemizi bu konuda dışa bağımlı hale getirmektedir. Bu dışa bağımlılığın azalması ancak yeni enerji kaynaklarının bulunması ve mevcut enerji kaynaklarının en etkin biçimde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Dünyada tüketilen enerji petrol, doğal gaz, kömür, nükleer, hidro ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Fosil yakıtlar ise bu kaynakların büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Enerji eldesinde yenilenebilir kaynaklarının kullanımın günden güne artmasına rağmen, halen fosil yakıtlar enerji talebinin % 87'sini karşılamaktadır ve uzun vadede de bu durumlarını koruyacakları öngörülmektedir. Türkiye'de enerji talebinin yaklaşık % 90'ı fosil yakıtlardan elde edilmekte ve yerli üretim talebin sadece % 25'ini karşılamaktadır. Petrolde yaklaşık % 93, doğal gazda ise yaklaşık % 99'lük dışa bağımlılık kömür gibi kendi öz kaynaklarımızın daha büyük ölçüde değerlendirilmesi gerektiğini çarpıcı bir şekilde ortaya koymaktadır.

Akademik hayata adım attığım ilk günden itibaren destek ve sabrını esirgemeyen, olumlu düşünceleri ve bilimsel katkılarıyla bana yön veren değerli danışman hocam Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK'e, tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY'a, Doç. Dr. Nazan YALÇIN ERİK'e ve Prof. Dr. Reyhan KARA GÜLBAY'a teşekkürü bir borç bilirim. Arazi çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Jeo. Müh. Mehmet TAKA'ya, kömür petrografisi çalışmalarındaki katkılarından dolayı Doç. Dr. Selami TOPRAK'a, XRD analizlerinin yorumlanmasındaki yardımlarından dolayı Doç. Dr. Elif VAROL'a, istatistiksel analizlerde desteğini gördüğüm Dr. Ebru KAYA BAŞAR'a, teşekkür ederim. Doktora sürecimin her aşamasında hem bilimsel, hem de manevi desteğiyle hep yanımda olan Dr. Selin KARADİREK ve Jeo. Yük. Müh. A. Cihan BAYRAKTAROĞLU'NA ayrıca teşekkür ederim. Hayatımın her döneminde olduğu gibi, bu çalışmamda da desteklerini esirgemeyen anne ve babama sonsuz teşekkürler ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
AKADEMİK BEYAN.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. İnceleme Alanının Konumu ve Morfolojisi.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Kömür Oluşumu.....	3
2.2. Kömürün Bileşenleri.....	4
2.2.1. Kömürün organik bileşenleri.....	4
2.2.2. Kömürün inorganik bileşenleri.....	6
2.3. Çalışma alanına ait kaynak taramaları.....	8
3. MATERYAL VE METOT.....	13
3.1. Arazi Çalışmaları.....	13
3.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	13
3.2.1. TOC-piroliz analizi.....	13
3.2.2. Organik petrografi analizleri.....	14
3.2.3. XRD tüm kayaç ve kil analizleri.....	14
3.2.4. Ana-iz element analizleri.....	15
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	16
4.1. Bölgesel Jeoloji.....	16
4.2. Stratigrafi.....	17
4.2.1. Neojen öncesi temel kayaları.....	17
4.2.2. Neojen yaşlı birimler.....	19
4.2.2.1. Bağkonak Formasyonu.....	19
4.2.2.2. Göksöğüt Formasyonu.....	19
4.2.3. Alüvyon ve yamaç molozu.....	29
4.3. Yapısal Jeoloji.....	29
4.4. Kömürlerin Organik Jeokimyasal Özellikleri.....	30
4.4.1. Organik madde miktarı.....	30

4.4.2. Organik madde türü .....	32
4.4.3. Organik maddenin olgunlaşma düzeyi.....	35
4.4.4. Kaynak kaya potansiyeli .....	35
4.4.5. Organik Fasiyes incelemeleri.....	38
4.5. Kömürlerin Organik Petrografik Özellikleri.....	39
4.5.1. Maseral analizi .....	39
4.5.2. Petrografik indekslerin ortamsal yorumlarda kullanımı .....	48
4.5.3. Yansıma ölçümleri .....	56
4.6. Kömür ve Kayaç Örneklerinin Mineralojisi .....	59
4.7. Ana-iz Element Analizi.....	63
4.7.1. Kömür örneklerinin ana element analiz sonuçları ve değerlendirilmesi.....	67
4.7.2. Kömür örneklerinin iz element analiz sonuçları ve değerlendirilmesi .....	76
4.7.3. Şarkikaraağaç kömürlerinin çevresel etkilerinin değerlendirmesi.....	102
5. SONUÇLAR .....	104
6. KAYNAKLAR .....	107
ÖZGEÇMİŞ	

## AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Şarkikaraağaç (Isparta) Kömürlerinin Organik Jeokimyası ve İz Element Dağılımı” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

27.1.07.2018

Neslihan ÜNAL



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

% : Yüzde

°C : Derece santigrat

C : Karbon

cm<sup>3</sup> : Santimetreküp

COOH: Karboksilik asit

g : Gram

H : Hidrojen

kg : Kilogram

m : Metre

mg : Miligram

mm : Milimetre

O : Oksijen

OH : Hidroksil

pH : Hidrojenin gücü

ppb : Milyarda bir birim

ppm : Milyonda bir birim

r : Korelasyon katsayısı

R<sub>o</sub> : Hüminin yansıması

S<sub>1</sub> : Kaya içerisinde serbest halde bulunan hidrokarbon miktarı

S<sub>2</sub> : Kerojenin ısısal parçalanmasından açığa çıkan hidrokarbon miktarı

S<sub>3</sub> : Kerojenin ısısal parçalanmasından açığa çıkan CO<sub>2</sub>

S<sub>4</sub> : S<sub>2</sub> kaydedildikten sonra geri kalan organik karbon miktarı

T<sub>max</sub> : S<sub>2</sub> pikinin maksimumuna ulaştığı noktadaki sıcaklık

Bu tezde kullanılan ondalık ayırıcı virgül (“,”)’ dür.

## **Kısaltmalar**

- ABD : Amerika Birleşik Devletleri
- ASTM : Amerika Malzeme ve Test Birliği
- B : Batı
- D : Doğu
- EF : Zenginleşme faktörü
- G : Güney
- GB : Güneybatı
- HC : Hidrokarbon
- HI : Hidrojen indeksi
- GI : Jelleşme indeksi
- GWI : Yeraltı suyu etkisi indeksi
- K : Kuzey
- KB : Kuzeybatı
- KD : Kuzeydoğu
- MTA : Maden Tetkik Arama
- MY : Milyon yıl
- NTE : Nadir toprak elementleri
- OF : Organik fasiyes
- OI : Oksijen İndeksi
- PI : Üretim indeksi
- PY : Potansiyel ürün
- RC : Rezidüel karbon
- TKİ : Türkiye Kömür İşletmeleri
- TOC : Toplam organik karbon
- TPAO : Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı

- TPI : Doku koruma indeksi  
UCC : Üst kıta kabuğu  
VI : Vejetasyon indeksi  
XRD : X-ışını kırınım yöntemi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası .....	2
Şekil 3.1. Çalışma alanında örnekleme yapılan kuyuların konumları (Anonim 1) .....	13
Şekil 4.1. Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası.....	17
Şekil 4.2. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti .....	20
Şekil 4.3. IS11 no'lu sondajda kömür seviyelerine ait dikme kesit.....	22
Şekil 4.4. IS50 no'lu sondajda kömür seviyelerine ait dikme kesit.....	23
Şekil 4.5. IS66 no'lu sondajda kömür seviyelerine ait dikme kesit.....	24
Şekil 4.6. IS88 no'lu sondajda kömür seviyelerine ait dikme kesit.....	25
Şekil 4.7. IS93 no'lu sondajda kömür seviyelerine ait dikme kesit.....	26
Şekil 4.8. IS98 no'lu sondajda kömür seviyelerine ait dikme kesit.....	27
Şekil 4.9. IS104 no'lu sondajda kömür seviyelerine ait dikme kesit.....	28
Şekil 4.10. TOC değerlerinin bölgesel yoğunluk haritası.....	32
Şekil 4.11. İncelenen örneklerin S <sub>2</sub> -TOC diyagramı ve organik madde türleri .....	33
Şekil 4.12. İnceleme alanının HI-OI kerojen tipi sınıflama diyagramı.....	34
Şekil 4.13. İncelenen örneklerin HI- T <sub>max</sub> diyagramındaki dağılımı .....	34
Şekil 4.14. İnceleme alanına ait HI-TOC diyagramı .....	36
Şekil 4.15. Kömür örneklerinin kuyu bazında maseral ve mineral bileşenleri.....	42
Şekil 4.16. Kömür örneklerinin mineral maddesiz bazda maseral gruplarının üçgen diyagramdaki konumları .....	42
Şekil 4.17. Kömür örneklerinin üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüleri .....	44
Şekil 4.18. Kömür örneklerinin üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüleri.....	45
Şekil 4.19. Fromboidal pirit oluşumlarının üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüsü ..	46
Şekil 4.20. Kömür örneklerinin GI-TPI diyagramındaki konumu (Diessel 1986) .....	50
Şekil 4.21. GI değerlerinin bölgesel yoğunluk haritası.....	51
Şekil 4.22. TPI değerlerinin bölgesel yoğunluk haritası.....	52
Şekil 4.23. Kömür örneklerinin GWI-VI diyagramındaki konumu (Calder vd. 1991) ..	53
Şekil 4.24. GWI değerlerinin bölgesel yoğunluk haritası.....	54
Şekil 4.25. VI değerlerinin bölgesel yoğunluk haritası.....	54
Şekil 4.26. Toplam kükürt değerlerinin GI ile ilişkisi .....	55
Şekil 4.27. Mineral madde ile GI arasındaki ilişkisi.....	56
Şekil 4.28. Kömür örneklerinin kuyu bazında R <sub>max</sub> , R <sub>o</sub> ve R <sub>min</sub> değerleri.....	58
Şekil 4.29. R <sub>o</sub> değerlerinin derinlikle değişimi .....	58



<b>Şekil 4.30.</b> Şarkikaraağaç kömürleri ile UCC, Dünya, Amerika, Çin, Türkiye kömürlerine ait ana element konsantrasyonları.....	67
<b>Şekil 4.31.</b> Kuyulara göre ana element ortalamaları.....	70
<b>Şekil 4.32.</b> Ana element-kül ilişkisi.....	71
<b>Şekil 4.33.</b> Mineral madde ve kül arasındaki ilişki.....	73
<b>Şekil 4.34.</b> Toplam kükürt ile K ilişkisi.....	74
<b>Şekil 4.35.</b> Toplam kükürt ile Fe ilişkisi.....	74
<b>Şekil 4.36.</b> Toplam kükürt ve pirit ilişkisi .....	75
<b>Şekil 4.37.</b> Ana elementlerin UCC'na göre kuyu bazında zenginleşme faktörleri.....	76
<b>Şekil 4.38.</b> Şarkikaraağaç kömürleri ile UCC, Dünya, Amerika, Çin, linyit kömürlerine ait iz element konsantrasyonları .....	78
<b>Şekil 4.39.</b> Şarkikaraağaç kömürlerinin cluster analizine ait dendogram gösterimi.....	80
<b>Şekil 4.40.</b> Kül-iz element ilişkisi.....	81
<b>Şekil 4.41.</b> Toplam kükürt-iz element ve toplam kükürt-kül ilişkisi .....	85
<b>Şekil 4.42.</b> Kuyulara göre iz element ortalamaları .....	87
<b>Şekil 4.43.</b> Co, V, Ni, Cu, Y ile pirit ilişkisi.....	89
<b>Şekil 4.44.</b> Sr ile Ca ve P ilişkisi.....	91
<b>Şekil 4.45.</b> Cs-K ilişkisi .....	93
<b>Şekil 4.46.</b> Ba-Ca ilişkisi .....	94
<b>Şekil 4.47.</b> Kuyulara göre NTE ortalamaları .....	95
<b>Şekil 4.48.</b> İz elementlerin UCC'na göre kuyu bazında zenginleşme faktörleri .....	100
<b>Şekil 4.49.</b> Kömür ve kayaç örneklerinin ana element içeriklerinin karşılaştırılması ..	101
<b>Şekil 4.50.</b> Kömür ve kayaç örneklerinin iz element içeriklerinin karşılaştırılması.....	102

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1.</b> Hüminit sınıflaması (Sýkorová vd. 2005) .....	5
<b>Çizelge 2.2.</b> Liptinit sınıflaması (Pickel vd. 2017) .....	5
<b>Çizelge 2.3.</b> İneritinit sınıflaması (ICCP 2001) .....	6
<b>Çizelge 2.4.</b> Kömürlerde bulunan bazı mineraller (Orem ve Finkelman 2003; Groen ve Craig 1993; Ünalın 2010'dan değiştirilerek alınmıştır).....	7
<b>Çizelge 4.1.</b> Kısa analiz sonuçlarının ortalama değerleri (Taka vd. 2014).....	21
<b>Çizelge 4.2.</b> Örneklere ait Rock-Eval piroliz sonuçları .....	31
<b>Çizelge 4.3.</b> a) Olgunlaşmamış kaynak kayanın türetim potansiyeli, b) kerojen tipi ve ürün kalitesi, c) ısısız olgunlaşma (Peters ve Cassa 1994).....	37
<b>Çizelge 4.4.</b> Organik fasiyeslerin genelleştirilmiş mikroskobik ve kimyasal karakteristikleri (Jones 1987).....	38
<b>Çizelge 4.5.</b> Kömür örneklerinin organik petrografi sonuçları.....	40
<b>Çizelge 4.6.</b> Kömür örneklerinin maseral gruplarının mineral maddesiz bazda hacimce yüzde değerleri.....	41
<b>Çizelge 4.7.</b> Fasiyes indislerine ait değerler .....	49
<b>Çizelge 4.8.</b> Kömür örneklerinin hüminit yansıma değerleri .....	57
<b>Çizelge 4.9.</b> şarkikaraağaç kömürlerinin tüm kaya ve kil bileşenleri .....	61
<b>Çizelge 4.10.</b> Kömürlü birimlerin taban, tavan ve ara kesme örneklerin tüm kaya ve kil bileşenleri .....	62
<b>Çizelge 4.11.</b> şarkikaraağaç kömürlerin ve UCC, Dünya, Linyit, Türkiye, ABD ve Çin kömürlerine ait element konsantrasyonlarının aritmetik ortalama değerleri.....	64
<b>Çizelge 4.12.</b> şarkikaraağaç kömürlerinin ana element korelasyon matris değerleri.....	68
<b>Çizelge 4.13.</b> şarkikaraağaç kömürlerine ait ana element zenginleşme faktörü değerleri.....	75
<b>Çizelge 4.14.</b> şarkikaraağaç kömürlerinin iz element korelasyon matris değerleri .....	79
<b>Çizelge 4.15.</b> şarkikaraağaç kömürlerinin iz element zenginleşme faktörü değerleri ...	99

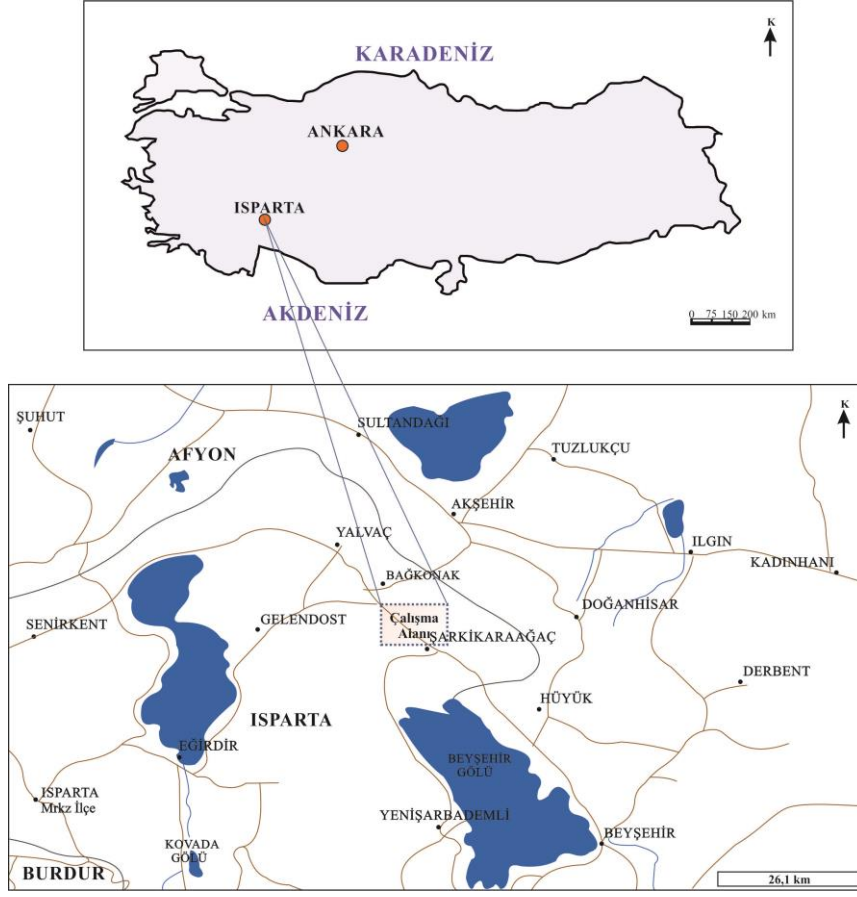
## 1. GİRİŞ

Gelişen ekonomisi ile Türkiye dünyanın en önemli enerji tüketicilerindedir. Son on yılda, küçük Avrupa ülkeleri dışarıda tutulduğunda, Türkiye elektrik, kömür ve doğal gaz talep artışında Avrupa’da ilk sıradadır (BP 2015). Enerji arzının % 30,7’si doğal gaz, % 30,3’ü petrol, % 17,2’si ithal kömür, % 9,9’u yerli kömürden karşılanmaktadır (TKİ 2016). Doğal gaz ve petrol rezervlerinin ülkemizde çok sınırlı oluşu, bu maddelerin neredeyse tamamının ithal edilmesini gerektirmekte ve ülke ekonomisine oldukça ağır bir yük getirmektedir. Öte yandan ülkemiz son yıllarda hız verilen kömür arama ve rezerv geliştirme faaliyetleri ile 16 milyar ton linyit rezervine ulaşmıştır (TKİ 2016) ve 2015 yılı verilerine göre dünya linyit üretiminde % 6,9 ile altıncı sırayı almıştır (IEA 2016). Şarkikaraağaç sahası da 0,3067 milyar ton rezervi ile yeni keşfedilen sahalardandır. Isparta ili Şarkikaraağaç ilçesinde bulunan kömür/kömürlü birimleri konu alan tez çalışmasında söz konusu birimlerin organik ve inorganik jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ile mineral ve element içeriklerinin ortaya konulması, organik petrografik özelliklerinin saptanması, ana-iz element içeriklerinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, kömür/kömürlü birimlerde organik madde miktarı, organik madde türü, organik madde olgunluğu belirlenmiş, organik petrografik analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kömürlü örnekler ile taban-tavan ve ara kesme örneklerinde XRD ve ana-iz element analizleri ile mineralojik bileşim ve element içeriği ortaya konmuştur.

### 1.1. İnceleme Alanının Konumu ve Morfolojisi

Çalışma alanı Isparta ilinin 120 km kuzeydoğusundaki Şarkikaraağaç ilçesinde bulunmakta olup, Kuzeyden Yalvaç ve Akşehir, Güneyden Beyşehir ve Yenişarbademli, Doğudan Doğanhisar ve Hüyük, Batıdan ise Gelendost ve Eğirdir ilçeleri ile çevrilidir (Şekil 1.1). Söz konusu saha 45 km<sup>2</sup>’lik bir alanı kapsamakta ve Afyon L26-c3 ve L26-c4 paftaları sınırları içerisinde bulunmaktadır.

Çalışma alanı ve civarında gözlenen önemli yükseltiler; Karaçalı Tepe (1366 m), Sayalık Tepe (1210 m), Göktaş Tepe (1236 m), Kelek Tepe (1153 m), Az Tepe (1190 m), Olçanbayır Tepe (1158 m), Kuş Tepe (1194 m), Seki Tepe (1174 m), İn Tepe (1326 m), Kızıl Tepe (1577 m), Tazıcı Tepe (1178 m), Bozkır Tepe (1200 m), Koçyatağı Tepe (1557 m), İslıkaya Tepe (1628 m), Kızılın Tepe (1256), İçme Tepe (1265), Külbaşı Tepe (1854), Çardakbayırı Tepe (1338 m), Ortataş Tepe (1437 m), Hatıbınağıl Tepe (1519 m), Buzlukale Tepe (1401 m), Tuzla Tepe (1304 m), Kütlü Tepe (1354 m), Efek Tepe (1335 m), Kara Tepe (1476 m), Koru Tepe (1462 m), Oyuk Tepe (1467 m), Fele Tepe (1583 m), Sağırkaya Tepe (1665 m), Dikmen Tepe (1690 m), Büyükekiz Tepe (1544 m), Küçükekiz Tepe (1542 m), Dikenlipınar Tepe (1644 m), Tilkiini Tepe (1445 m), Kale Tepe (1567 m)’dir. Bölgedeki derelerin çoğunluğu bol yağışlı zamanlar hariç kurudur. Belli başlı dereler; Soğukoluk, Gavur, Harmanarkası, Kavaklı, Zindan, Dik, Karakayapınarı, Yıkık, Şimşir, Çayıraltı, Bağ, Tavuk, Kapçılar, Çukur, Mestançavuşun, Martlıca, Yukarıçamlıca, Kazıkboğazı, Çeşme’dir. Çalışma alanı çevresinde gözlenen sırtlar ise Zengen, Bağ, Takkacıkırı, Kapçılar, Peynirtaş, Yanıkgök, Ağlıkırı, Bekçiseki, Gavur sırtlarıdır.



**Şekil 1.1.** Çalışma alanı yer bulduru haritası

Deniz seviyesinden 1180 m yükseklikte bulunan çalışma alanı Akdeniz Bölgesinde yer almasına karşın daha çok karasal iklime geçiş özelliği göstermektedir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Düşük kotlu araziler ve ovalarda tarım yapılırken, Kızıldağ'da sedir ağaçları, Anamas Dağları civarında çam ağaçları bulunmaktadır.

## 2. KAYNAK TARAMASI

### 2.1. Kömür Oluşumu

Kömür, kahverengi-siyah, siyah, koyu gri renkli, temel olarak karbonun yanı sıra hidrojen, oksijen ile daha az oranda kükürt ve nitrojen içeren, bitkisel malzemenin ısı ve basınç etkisiyle fizikokimyasal değişime uğraması ile oluşan, organik madde yanında inorganik bileşenleri de bulunduran heterojen bir sedimanter kayadır. İçerdikleri organik maddenin türüne göre hümik ve sapropelik olmak üzere iki çeşit kömür bulunmaktadır. Hümik kömürler, bitkisel malzemenin bataklık ortamında öncelikle bakteri ve mantarların etkisi ile turbalaşması, daha sonra gömülmenin artması ile sıcaklığın etkisiyle turbanın kömürleşmesi sonucu oluşurlar. Kömürleşme derecesine göre linyit, alt bitümlü kömür, bitümlü kömür, antrasit gibi isimler alırlar. İçerdikleri organik madde çoğunlukla III. Tip kerojendir. Sapropelik kömürler, belli bir su kütlesine sahip olan lagün, göl, deniz gibi ortamlarda biriken sapropelin, sıcaklığın etkisiyle kömürleşmesi sonucu oluşan, homojen görünümlü kömürlerdir. Fazla miktarda spor ve polen içeren türlerine cannel kömürü, alg bakımından zengin olanlarına ise boghead kömürü denir. İçerdikleri organik madde I. ve II. Tip kerojendir. Sapropelik kömürlerin rezervleri ve dağılımları oldukça sınırlıdır. Dünyadaki kömürlerin büyük çoğunluğu hümik kömürlerdir (Stach vd. 1982).

Kömürleşme, turbanın kimyasal ve jeolojik faktörlerin etkisiyle linyit, yarı bitümlü kömür, bitümlü kömür, antrasite dönüşmesi olayıdır. Kömürleşme olayı biyokimyasal ve jeokimyasal kömürleşme olarak iki aşamada gerçekleşir. Turba oluşumunu kapsayan biyokimyasal kömürleşme aşamasında bitkilerin bileşiminde bulunan selüloz, hemiselüloz, pektin, sakarid, nişasta ve proteinler, bakteri ve mantarlar tarafından su, karbondioksit ve hümik asite dönüştürülürler. Gömülme devam ettikçe anaerobik koşullarda süren bu olay kahverengi kömür (yumuşak linyit) basamağına kadar devam eder. Diyajenez ile hümik asitler -OH (hidroksil), -COOH (karboksil) gruplarını kaybedip hüminlere dönüşür. Başlangıçta su içeriği yüksek olan hümik maddeler jel şeklindedir. Biyokimyasal jelleşme süresince homojenleşme, sıkışma, çimentolanma olayları devam eder. Böylece bütün hümik maddeler polimerleşir ve jeokimyasal kömürleşme aşaması başlar (Yağmurlu 1983). Bu aşamada kahverengi kömür değişik özellikteki linyit ve bitümlü kömür evrelerinden geçerek metaantrasit ve antrasite dönüşür (Stach vd. 1982). Jeokimyasal kömürleşme süresince mikrobiyal aktivite izlenmez. Öte yandan sıcaklık, basınç ve zaman önemli faktörlerdir. Kömürleşme derecesinin artmasıyla nem miktarı azalır. Nem miktarının azalması, gözenekliliğin azalmasının dışında, -OH, -CH<sub>3</sub> (metoksil), -COOH, ve -C=O (karbonil) gibi grupların ayrılmasına bağlıdır (Stach vd. 1982). Sert kahverengi kömür aşamasında lignin ve selülozun son kalan artıkları da hümik maddelere dönüşür. Hümik asitler, asit karakterlerini kaybederek daha büyük moleküllü alkali hüminleri oluşturur. Kömürleşme derecesi arttıkça bitümlü kömürlerde uçucu madde oranı azalır. Antrasit basamağında H/C oranında hızlı bir düşüş, vitrinit yansıması ve optik anizotropide hızlı bir artış görülür (Yağmurlu 1983).

Kömür oluşumu için bazı koşulların gerçekleşmesi gerekmektedir. Bunlar;

- Bitki örtüsünün sürekli bir biçimde gelişimine izin veren iklim ve bölgesel koşullar

- Bitkilerin atmosferdeki oksijenden korunması
- Kömürleşmenin gerçekleştiği bölgenin sürekli olarak çökmesi
- Çökme hızının optimum olmasıdır (Yağmurlu 1983).

## 2.2. Kömürün Bileşenleri

### 2.2.1. Kömürün organik bileşenleri

Kömür örneği çıplak gözle incelendiğinde farklı parlaklık ve dokuda bantlardan (litotip), mikroskop altında incelendiğinde ise değişik kökene sahip organik maddelerden (maseral) oluştuğu gözlenmektedir. Minerallerin bir araya gelerek kayaçları oluşturması gibi, maseraller de kömürleri oluşturur. Bir başka deyişle, kömürlerin en küçük organik bileşenlerine maseral denir. Maseraller farklı kökene ait bitkilerin değişik kesimlerinin kömürleşmiş halleri olduğundan, morfolojik yapıları, fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirlerinden farklıdır. Kömür petrografisi çalışmaları ile elde edilen maseral bileşen ve oranları kömürün oluşum sürecindeki koşulları, depolanma ortamının yorumlanması ve organik maddenin kaynağı konusunda önemli bilgiler sunmaktadır (Diessel 1986). Linyitlerde, hüminit, liptinit inertinit olmak üzere üç çeşit maseral grubu bulunmaktadır.

*Hüminit grubu:* Hüminit terimi ilk olarak Szadecky-Kardoss (1949) tarafından kullanılmıştır. ICCP ise 1970 yılından beri linyitler için bir maseral grubu olarak bu terimi kullanmaktadır (Sýkorová vd. 2005). Hüminit, taşkömürü ve antrasitlerdeki vitrinite karşılık gelmektedir. Yansıyan ışıktaki renkleri orta-koyu gridir ve linyitlerde ışık yansıtma derecesi (Rr) % 0,2-0,4 arasındadır (Sýkorová vd. 2005). Flüoresans rengi sarı-kahveden kırmızı-kahveye değişiklik gösterebilir (Taylor vd. 1998). İntertinit ve liptinitlere göre rölyef gözlenmez. Işık yansıtma derecesi inertinit ve liptinit maserallerinin yansıtma değerleri arasındadır. Diğer iki gruba göre daha yüksek oksijen ve daha düşük karbon içeriğine sahiptir. Bitkilerin kök, gövde ve yapraklarını meydana getiren selüloz, lignin ve tanine ait hücre duvarları ve hücre dolgu maddelerinden türeler. Bozunma süreçlerine (hümfikasyon ve jelleşme derecesi) ve kömürleşme düzeyine bağlı olarak hücre yapıları korunabilir veya değişik seviyelerde gözlenebilir. Hüminit, bataklıklarda linyoselülozik materyalin anaerobik koşullarda korunması ile oluşur. Tersiyer kömürlerinde hüminit ana bileşendir ve miktarı % 90'ı aşabilir (Sýkorová vd. 2005). Hüminitler üç maseral alt grubuna ve altı maserale ayrılmıştır (Çizelge 2.1).

*Liptinit grubu:* Liptinit terimi ilk olarak Ammasov (1956) tarafından kullanılmıştır. Hidrojen bakımından zengin spor, polen, reçine, mum ve yağlardan meydana gelirler. Yansıyan ışıktaki renkleri koyu gri-siyah ve yeşilimsi sarı-sarı renklerde oldukça güçlü bir flüoresans özelliği gösterir. Flüoresans şiddeti kömürleşme arttıkça azalır. Işık yansıtma dereceleri kömürleşme/termal olgunluk ile artar ve yaklaşık % 1,3 düzeyine ulaşabilir ancak daha ileri düzeylerde liptinit maserali duraylılığını koruyamaz. İntertinit ve hüminit maserallerine göre ışık yansıtma dereceleri daha düşüktür. Hidrojen ve uçucu madde bakımından ise en zengin maseral grubudur. Yüksek hidrojen içeriği nedeniyle, liptinitçe zengin kömürler sıvı hidrokarbon kaynağı olarak değerlendirilebilmektedirler. Düşük ışık yansıtma dereceleri ve flüoresans

özellikleri ile diğer iki maseral grubundan ayrılırlar (Pickel vd. 2017). Liptinitler, dokuz maserale ayrılmıştır (Çizelge 2.2).

**Çizelge 2.1.** Hüminit sınıflaması (Sýkorová vd. 2005)

Maseral Grubu	Maseral Alt Grubu	Maseral
Hüminit	Telohüminit	Tekstinit
		Ülminit
	Detrohüminit	Atrinit
		Densinit
	Jelohüminit	Korpohüminit
		Jelinit

**Çizelge 2.2.** Liptinit sınıflaması (Pickel vd. 2017)

Maseral Grubu	Maseral
Liptinit	Kütinit
	Suberinit
	Sporinit
	Rezinit
	Eksudatinit
	Klorofillinit
	Aljinit
	Liptodetrinit
	Bitüminit

*İnertinit grubu:* İnertinit terimi, teknolojik süreçlerde diğer iki maseral grubundan farklı olarak inert davrandığı için türetilmiştir. İnertinit maseralleri, yüksek bitki dokuları ve mantarlardan kaynaklanır. Hücre yapılarının korunma derecesi ve şekli, farklı inertinit maserallerinin depolanma sonrası maruz kaldığı koşullara ve kökenine bağlı olarak değişiklik gösterir. Kömürleşme sırasında farklı kökenli maserallerden de oluşabilirler. Yansıyan ışıkta renkleri gri, grimsi beyaz-sarımsı beyaz arasında değişir. İnertinit maserallerinin flüoresans özelliği yoktur ancak mavi-mor/yeşil ışık uygulandığında düşük yansıtma dereceli inertinitler zayıf flüoresans gösterebilirler. Işık yansıtma dereceleri diğer iki gruptan yüksektir. Mikrinit dışındaki inertinit maseralleri genellikle pozitif rölyef gösterir. En büyük ışık yansıtma şiddetinde, en yüksek rölyefi gösterirler. Füzinitlerin hücre duvarları zayıf anizotropi gösterebilirler. Diğer maseral gruplarıyla karşılaştırıldıklarında, yüksek karbon, düşük hidrojen ve oksijen içerikleriyle karakterize edilirler (Van Krevelen 1993). Karbon içeriği, maseralin kökenine ve turbalaşma aşamasında maruz kaldığı redoks/kuruma süreçlerine bağlıdır (ICCP 2001). İnertinit grubu maseralleri, yedi maserale ayrılmıştır (Çizelge 2.3).

**Çizelge 2.3.** İneritinit sınıflaması (ICCP 2001)

Maseral Grubu	Maseral
İneritinit	Füzinit
	Semifüzinit
	Funginit
	Sekretinit
	Makrinit
	Mikrinit
	İnertodetrinit

### 2.2.2. Kömürün inorganik bileşenleri

Kömürler organik maddenin yanı sıra inorganik bileşenler de kapsamaktadır. İnorganik bileşenlerin tür ve miktarları kömürün kimyasal, jeolojik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesinde önemlidir. Kömür oluşumu sırasında jeolojik ve kimyasal süreçlerdeki farklılıktan dolayı inorganik bileşenlerin türü ve miktarı havzalar arasında, havzalardaki yataklar arasında her seviyede çeşitlilik gösterebilmektedir (Swaine 1990; Bouska 1981). İnorganik materyal, boşluk suyu içerisinde çözülmüş olarak bulunan tuzlar, belirli kristal yapıya sahip katılar ya da organometalik bileşiklerdir (Ward 1984). Bunlar, turba bataklığına dışarıdan gelen ve organik madde ile birlikte depolanan kuvars, feldispat gibi detritik mineraller; midye kabukları, diatomlar gibi sucul organizmalara ait olup, daha sonra turbaya karışan bileşenler; su içerisinde eriyik halde bulunan minerallerin kristalleşerek çökmesi ile oluşan otijenetik minerallerdir. Otijenetik mineraller sinjenetik veya epijenetik olarak oluşabilirler. Sinjenetik mineraller siderit yumruları, pirit framboitleri, gözenek dolgusu veya bitkisel hücre dolgusu halinde bulunan kuvars, fosfat, kaolinit ve pirit mineralleridir. Epijenetik mineraller ise turba kömürleştikten sonra kırık ve çatlaklara çökelen kalsit, dolomit, siderit, ankerit, markazit, pirit, apatit, illit, klorit, dawsonittir (Ünal 2010). Kömürdeki mineral madde miktarı kömürün kalitesini belirler ve mineral madde oranının yüksek olduğu kömürler düşük kaliteli olarak sınıflandırılır. Kömürün yakıt olarak değerlendirilebilmesi için mineral madde oranının % 50'nin altında olması gerektiği kabul edilmektedir. Kömürlerde bulunan başlıca mineraller bolluk durumlarına göre Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Kömür örneklerinin çoğunda ana elementler ve kükürt (C, H, O ve N hariç) ağırlıkça değişik yüzdelerde görülebilmekte, Aktinyum, Fransiyum, Polonyum, Protaktinyum, Astanit gibi elementler hariç diğer tüm elementler ise % 1'in altında konsantrasyon sunmaktadır (Orem ve Finkelman 2003). Kömür, iz element zenginleşmeleri yönünden oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Kömürlerde zenginleşen iz elementler depolanma ortamının jeokimyasal koşullarının belirlenmesinde önemli bilgiler sunabilmektedir. Kömürde inorganik bileşenlerin bolluğu, her seviyede mikrometreden kilometreye kadar çeşitlilik sunmaktadır. Bu çeşitlilik turba ve kömür oluşum sürecindeki jeolojik ve jeokimyasal farklılıktan kaynaklanmaktadır (Swaine 1990; Bouska 1981).



**Çizelge 2.4.** Kömürlerde bulunan bazı mineraller (Orem ve Finkelman 2003; Groen ve Craig 1993; Ünal 2010'dan değiştirilerek alınmıştır)

<b>Bol Bulunanlar</b>	Kuars (SiO <sub>2</sub> )	
	Kaolinit (Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> )	
	İllit (K, Al, silikat)	
	Montmorillonit (Na,Ca) <sub>3</sub> (Al,Mg) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> .nH <sub>2</sub> O	
	Klorit (Mg,Fe) <sub>5</sub> Al(Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	Mn kapsayabilir. Killer içinde Be,Cr,Ni ve diğer iz elementler bulunabilir
	Pirit (FeS <sub>2</sub> )(kübik)	As,Cd,Co,Hg,Ni ,Sb ve Se kapsayabilir
	Kalsit(CaCO <sub>3</sub> )	
	Siderit (Fe, Mn)CO <sub>3</sub>	Mn kapsayabilir
<b>Az Bulunanlar</b>	Analsim NaAlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub> .(H <sub>2</sub> O)	
	Apatit Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	
	Barit (BaSO <sub>4</sub> )	
	Kalkopirit (CuFeS <sub>2</sub> )	
	Klostalit (PbSe)	
	Krandalit grubu (Ca, Ba, Sr)Al <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> .H <sub>2</sub> O -Krandalit CaAl <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> .(H <sub>2</sub> O) -Gorseksit BaAl <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> )(PO <sub>3</sub> OH)(OH) <sub>6</sub> -Goyazit SrAl <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> .(H <sub>2</sub> O)	
	Dolomit CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	
	Feldispatlar KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> - NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> - CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	
	Galen (PbS)	
	Markasit (FeS <sub>2</sub> ) (rombik)	Pirit kapsayabilir
	Monazitler (REE, Th) PO <sub>4</sub>	
	Rutil / Anataz (TiO <sub>2</sub> )	
	Sfalerit (Zn, Fe)S	Cd kapsayabilir
	Zenotim (Y, Yb) PO <sub>4</sub>	
	Zirkon (ZrSiO <sub>4</sub> )	
<b>Çok Az Bulunanlar</b>	Kromit (Fe <sup>2+</sup> Cr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	
	Jipsit Al(OH) <sub>3</sub>	
	Altın (Au)	
	Jips (CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O)	
	Halit (NaCl)	
	Manyetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	
	Muskovit KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	

Bitki topluluğu, kaynak girdisi, detritik girdi, diyajenetik süreçler kömürün inorganik kimyasal bileşiminin bolluğunu ve tipini etkiler (Orem ve Finkelman 2003). Düşük kül içeriğine sahip kömürlerde, elementler çoğunlukla organik materyalle

ilişkilidir (Swaine 1995). Buna ek olarak organik ilişkinin baskınlığı için kül içeriği çok düşük olmalıdır ( $< \% 5$ ) (Finkelman 1982). Kömürlerde kül artışıyla birlikte organik kökene bağlı elementlerin miktarı azalırken, minerallere bağlı elementler artar (Nicholls 1968; Song vd. 2007). Ana ve iz element çalışmalarının çoğunda, elementlerin kömürle olan bağlarının organik/inorganik kökenli olup olmadığı incelenmiştir (Raask 1985; Finkelman 1994a, 1994b; Karayığit vd. 1999; Spears ve Zheng 1999). Kömürdeki iz elementlerin kökenleri; element konsantrasyonları ve kül arasındaki korelasyon ilişkisi kullanılarak belirlenir. İz elementlerin kömür ile kökensel ilişkilerinin belirlenmesi kömür hazırlama, zenginleştirme ve temiz kömür üretiminde önem taşımaktadır (Baba vd. 2008). Kömürdeki iz elementler, kömürün çıkarılması, taşınması ve yakılması gibi çeşitli aşamalarda çevresel etkilere sebep olabilirler (Finkelman 1994a, 1994b). Bu kapsamda Kagey ve Wixson (1983) kömür kullanımının değişik aşamalarda çevreye ve insan sağlığına zarar verdiğini ortaya koymuşlardır. Öte yandan endüstriyel açıdan önemli olan bazı iz elementlerin belli konsantrasyonların üzerinde olması, kömür için ayrı bir ekonomik potansiyel oluşturur. Kömürlerdeki ortalama iz element konsantrasyonları dünya kömürleri için Valkovic (1983a, 1983b), Swain (1990), Bouska ve Pesek (1999), Ketris ve Yudovich (2009); Amerika kömürleri için Finkelman (1993); İngiltere kömürleri için Spears ve Zheng (1999); Çin kömürleri için Dai vd. (2007, 2008) tarafından belirlenmiştir. Türkiye’de ise Palmer vd. (2004) tarafından ortalama iz element konsantrasyonları ortaya konmuş olup, Toprak (1996), Querol vd. (1999), Karayığit vd. (2000a, 2000b, 2000c), Kara-Gulbay ve Korkmaz (2009); Hoş-Çebi vd. (2009) Hoş-Çebi ve Korkmaz (2011); Altunsoy vd. (2015, 2016, 2017); Özçelik vd. 2016 gibi araştırmacılar da farklı bölgelerdeki kömürlerde iz elementler konusunda incelemelerde bulunmuşlardır.

### 2.3. Çalışma alanına ait kaynak taramaları

Günümüze dek Şarkikaraağaç bölgesinin içinde yer aldığı Isparta Açısı ve civarında değişik amaçlı pek çok jeolojik araştırma yapılmıştır. Bölgedeki ilk jeolojik incelemeler maden aramaları konularında veya araştırmacıların gezi notları şeklinde 150 yıllık bir geçmişe sahiptir. İlk çalışma bölgedeki şistler hakkında 1836 yılında Hamilton tarafından yapılmıştır. İlk sistematik araştırmaların başlangıcı ise 1944’de Blumenthal’in gerçekleştirdiği çalışmadır.

**Brunn vd. 1971;** Çalışmalarında Batı Toroslar’ın yapısal problemlerini irdelemişler ve bu problemlere ışık tutacak çözümler yapmışlardır. Bu kapsamda Orta Toroslar’da temel ile Mesozoyik-Tersiyer örtü ve Batı Toroslar’daki nap sistemlerini tartışmışlardır.

**Despraries ve Gutnic 1972;** Ordovisyen yaşlı şistler üzerindeki kırmızı kumtaşlarını ve Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarının tabanında bulunan diyabazların üst kesimlerinde gözlenen kırmızı birimleri, otokton konumlu karasal birimler olarak değerlendirmişler ve söz konusu birimlerin Batı Toroslar’ın iç kenar kısmını oluşturduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bölge için paleocoğrafik belirlemelerde bulunmuşlardır.

**Haude 1972;** Sultandağları’nın güney kesiminde Kambriyen-Devoniyen yaşlı birimler, Alt Paleozoyik üzerine bindiren Üst Devoniyen-Permiyen yaşlı birimler ve Mesozoyik yaşlı kireçtaşları olmak üzere üç zon belirlemiştir.

**Demirkol 1977;** Batı Toroslar'ın kuzeyinde bulunan, Yalvaç ve Akşehir civarını irdelemiş ve bu bölgedeki birimlerin Batı Toroslar'la korelasyonunu yapmıştır. Araştırmacıya göre; çalışma alanının temelinde Alt (?) - Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe kireçtaşı bulunur ve bu birim dereceli olarak Üst Kambriyen-Alt Ordovisyen yaşlı Sultandede Formasyonuna geçer. Sultandede Formasyonunun üzerine uyumsuz dokanakla Orta-Üst Devoniyen yaşlı Engilli kuvarsiti ve Harlak Formasyonu gelir. Bunları Alt Karbonifer'de Kocakızıl Formasyonu, Permiyen'de ise Deresine Formasyonu izler. Üst Jura'da Hacıalabaz kireçtaşı, Neojende ise akarsu fasiyesindeki Bağkonak Formasyonu, taşkın ovası fasiyesindeki Göksöğüt Formasyonu ile gölsel fasiyesteki Yarıkkaya formasyonu alttaki birimler üzerine açılmal uyumsuz olarak çökelmişleridir.

**Demirkol vd. 1977;** Sultandağları'nın stratigrafisi ve jeolojik evrimini irdeledikleri çalışmalarında, bölgedeki kaya birimlerini Otokton ve Allohton olmak üzere ikiye ayırmışlardır. Ayrıca bölgenin jeolojisinin şekillenmesinde KB-GD gidişli yapıların etkili olduğunu, Kaledoniyen, Hersiniyen ve Alpin Orojenezlerinin de rol oynadığını belirtmişlerdir.

**Çetin ve Bulur 1979;** Yalvaç ve Şarkikaraağaç arasında gerçekleştirdikleri çalışmalarında, bölgedeki boksit cevherleşmeleriyle ilgili rezerv hesaplamaları yapmışlardır.

**Demirkol 1981;** Sultandağ kuzeybatısı'ndaki birimleri otokton ve allohton olarak ayırmış; otokton birimleri Üst Kambriyen- Alt Ordovisyen yaşlı metamorfik Sultandede Formasyonu ile başlatıp, bunun üzerine uyumsuz olarak Mesozoyik Liyas-Dogger yaşlı Hacıalabaz kireçtaşlarını getirmiştir. Birimler, Senoniyen-Maestrihtiyen yaşlı Taşevi Formasyonu, Maestrihtiyen yaşlı Gölcük Formasyonu ile devam eder. Hoyran ofiyolitleri ise Paleosen - Orta Eosen yaşlı Yukarıtirtarlar Formasyonu ve detritiklerden oluşan Celeptaş Formasyonu üzerine tektonik dokanakla gelir. Üst Miyosen - Pliyosen yaşlı Bağkonak ve Yarıkkaya Formasyonlarıyla otokton seri son bulur.

**Öztürk vd. 1981;** Şarkikaraağaç civarında gerçekleştirdikleri çalışmalarında, bu bölgenin Batı Toroslar'ın bir parçası olduğunu kabul etmişler ancak, temelde belirledikleri dayk ve siller ile Triyas yaşlı birimlerdeki farklı düşüncelerini belirtmişlerdir. Üst Miyosen yaşlı Bağkonak Formasyonu'nun alüvyal yelpaze ve Pliyosen yaşlı Göksöğüt Formasyonunun ise gölsel ortam şartlarını yansıttığını ileri sürmüşlerdir.

**Ayhan ve Karadağ 1985;** Şarkikaraağaç güneyinde yer alan boksitli demir ve demirli boksit yataklarının jeolojisi ve oluşumunu incelemişlerdir. Bu yatakların hiçbir kökensel ilişkisi olmadığını, Boksitli demir yataklarının allohton kökenli, demirli boksit yataklarının ise otokton kökenli olduğu sonucuna varmışlardır.

**Boray vd. 1985;** Isparta büklümünün kuzey kısmında kalan Neojen ve Kuvaterner birimlerini inceledikleri çalışmalarında, neotektonik dönemin Üst Miyosen'de başladığını, Neojen çökellerin karasal, akarsu ve göl fasiyeslerinde geliştiğini, daha eski kayalar üzerinde uyumsuz olarak yer aldıklarını vurgulamışlardır. Çalışma sahasında yaklaşık K-G uzanımlı kıvrımlar ve ters faylar ile bölgenin

kuzeyinde küçük bir alanda D-B uzanımlı normal fayların oluştuğunu belirlemişler, Üst Miyosen'den beri devam eden bir sıkışma ve bu nedenle Isparta Büklümünün kuzey kesiminde D-B yönlü daralma tespit etmişlerdir.

**Demirkol ve Yetiş 1985;** Hoyran Gölü'nün kuzey kesiminin temel stratigrafisini irdeledikleri çalışmalarında, buradaki birimleri otokton ve allokton olmak üzere sınıflandırmışlardır. Üst Miyosen-Pliyosen döneminde Bağkonak Formasyonunu ve Yarikkaya Formasyonunun çökeldiğini, bu yaş aralığında hızlı bir karasal ve gölsel kırıntılı depolanmanın gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

**Ayhan 1986;** Şarkikaraağaç (Isparta)-Hüyük (Konya)arasındaki barit yataklarını jeokimyasal ve kökensele açıdan incelemiştir.

**Eren 1990;** 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. Sultandağları masifinin Engili ve Bağkonak köyleri arasında kalan orta kesiminin tektonik özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmasında, Sultandağları masifinin sırasıyla Kaledoniyen, Hersiniyen ve Alpin olmak üzere üç ayrı dağ oluşum hareketleri neticesinde kıvrımlı ve bindirmeli bir iç yapı kazandığını ileri sürmüştür. Alpin hareketlerle naplı bir yapıyı bünyesine ekleyip sonra yoğun olarak genç- tektonik hareketlerle Üst Miyosen ve sonrası blok faylanmaların etkisinde kaldığını ve bu faylanmaların neticesinde Sultandağları'nın KB-GD uzantılı bir horst yapısı kazandığı saptanmıştır.

**Yağmurlu 1991a;** Yalvaç-Yarikkaya havzasının stratigrafisini ve depolanma ortamını incelemiş, bölgenin yüksek dağ kuşakları ile çevrelenmiş ve kenarları tümüyle normal faylarla sınırlanmış üçgen şekilli kapalı bir havza özelliği taşıdığını belirtmiştir. Yalvaç-Yarikkaya havzasının tipik bir dağ arası havza niteliği taşıdığını saptamış, buna gerekçe olarak da çökme ortamlarının havza içindeki dağılımı ve geometrik özelliklerini, havzayı dolduran çökellerin yanal yönde litofasiyes değişimini göstermiştir. Yazara göre; Neojen yaşlı istif Bağkonak Formasyonu ile başlamış, üste doğru Madenli, Yarikkaya, Göksöğüt ve Kırkbaş Formasyonları ile devam ederek 800 m kalınlığa ulaşmıştır. Havzayı dolduran çökellerin genellikle alüvyonal ve gölsel nitelikte olduğunu belirtmiştir. Yarikkaya Formasyonunun alt kısmını oluşturan kıltaşı üyesi içerisinde linyitli zonlar gözlemlenmiştir.

**Yağmurlu 1991b;** Yalvaç-Yarikkaya havzasının tektono-sedimanter özellikleri ve yapısal evrimini irdelediği çalışmasında; bölgedeki temel kayalarında kıvrımlı-bindirmeli yapılar gözlemlenmesine karşın, Neojen tortullarının daha çok normal faylardan etkilendiğini vurgulamıştır. Bölgedeki Neojen birimlerinin, havzayı sınırlandıran basamak şekilli K, KB, KD gidişli büyüme fayı niteliğindeki normal fayların denetiminde biriktiğini belirtmiştir. KKD-GGB doğrultusunda, Pliyosen'den bu yana bölgeyi etkileyen sıkışma rejiminin etkisinde, günümüzde de aktif olan KD gidişli, sol oblik atımlı Kumdanlı Fayının geliştiğini saptamıştır.

**Cengiz ve Kuşcu 1993;** Çarıksaraylar (Şarkikaraağaç-Isparta) kuzeyinin jeolojisi ve barit cevherleşmelerini inceledikleri çalışmalarında, kurşunlu barit

cevherleşmelerinin orta ısıli hidrotermal çözeltilerden türemiş olduğunu öne sürmüşlerdir.

**Elitok 2000;** Şarkikaraağaç (Isparta) ve civarının jeoloji, mineraloji ve Petrografisi konulu doktora tezinde, Kızıldağ ofiyolitlerinin jeokimyasal özelliklerini ortaya koyarak ofiyolitlerin oluştukları jeotektonik ortama yaklaşımda bulunmaya çalışmıştır. Otokton birimlerin üzerine allokton konumlu birimlerin geldiği belirlemiştir. Allokton konumlu Kızıldağ ofiyolitlerinin kesin olmamakla birlikte yitim üstü zonu ofiyolitleri olabileceğini tespit etmiştir.

**Cengiz ve Kuşcu 2003;** Madenli ve Belceğiz arasındaki lisvenitlerin, jeolojisi, jeokimyası ve gelişimini araştırmışlar, lisvenitlerin ana MORB 'la ilişkili hafif nadir toprak elementli tüketilmiş mağmadaki ultramafik kayalardan türediğini tespit etmişlerdir.

**Örmeci 2005;** "Şarkikaraağaç Havzasının Hidrojeolojik İncelemesi" isimli yüksek lisans çalışmasında jeolojik birimleri hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirerek hidrojeoloji haritası hazırlamıştır. Akiferlerin hidrolojik parametrelerini belirlemiş, bölgedeki yeraltısuyu seviyesinin konumu ve akım yönünü belirlemek amacıyla yeraltısuyu seviye haritaları hazırlamış ve bölgenin su bilançosunu çıkarmıştır. Yeraltısularının kimyasal yapısı, kalitesi, izotopik bileşiminin belirlenmesi için kimyasal ve çevresel izotop analizlerini gerçekleştirmiştir. Yeraltı suyunu belirlemek amacıyla, nitrit, nitrat, amonyak ve ağır metal analizleri yaptırmış ve suların dış kökenli kirleticiler nedeniyle olumsuz etkilendikleri sonucunu çıkarmıştır. Çevresel izotop analizlerinde, oksijen-18 ve döteryum değerlerine göre göre yeraltısuları kıtasal meteorik kökenlidir. Bunun yanı sıra tityum (3H) içeriğine göre ise genç sulardır.

**Elmas ve Suner 2006;** Dinek (Şarkikaraağaç-Isparta) dolaylarında yataklanmış olan ve ekonomik değere sahip barit cevherleşmelerini kökensel olarak incelemişler ve oluşum modelini açıklamışlardır. Dinek dolaylarındaki baritler genel olarak kısa süreli indirgen koşullar altında kesintiye uğramış yükseltgeyici koşullarda ve düzenli olmayan havza ortamında, sedimanter olarak yataklanmışlardır.

**Ünsal 2010;** Seydişehir (Konya) ve Şarkikaraağaç (Isparta) bölgesindeki Seydişehir Formasyonu jeolojik ve jeokimyasal açıdan incelemiş, söz konusu formasyonu oluşturan kayaların sedimanter kökenli olduğunu, diskriminant analizleri sonucunda sedimanter kökenin kaynağının kuvarslı sedimanter-felsik magmatik-nötr magmatik kaynak olabileceği sonucuna varmıştır.

**Turgay 2011;** Konya-Akşehir batı ve güneyindeki demir oluşumlarını mineralojik ve jeokimyasal açıdan incelemiş, Yalvaç ilçesi sınırları içinde yer alan kısımda dolerit daykları belirlemiştir. Doleritlerin altere olduklarını ve bu alterasyonun yüzeysel şartlarda oluşup ilerleyerek boksitleşmelere yol açtığını saptamıştır. Akşehir batısındaki Sultandede Formasyonu'na ait metadiyabaz arakatmanları içeren metamorfite kesen bir gabro intrüzyonu belirlemiştir.

**Tuncer vd 2017;** Şarkikaraağaç sahasında kömür içeren istifin kömür petrolojisi ve mikropaleontolojisiyle ilgili ön çalışma yapmışlar, buna göre kömürün anoksik limnotelmatik-telmatik koşullar altında çökeldiğini belirtmişlerdir.

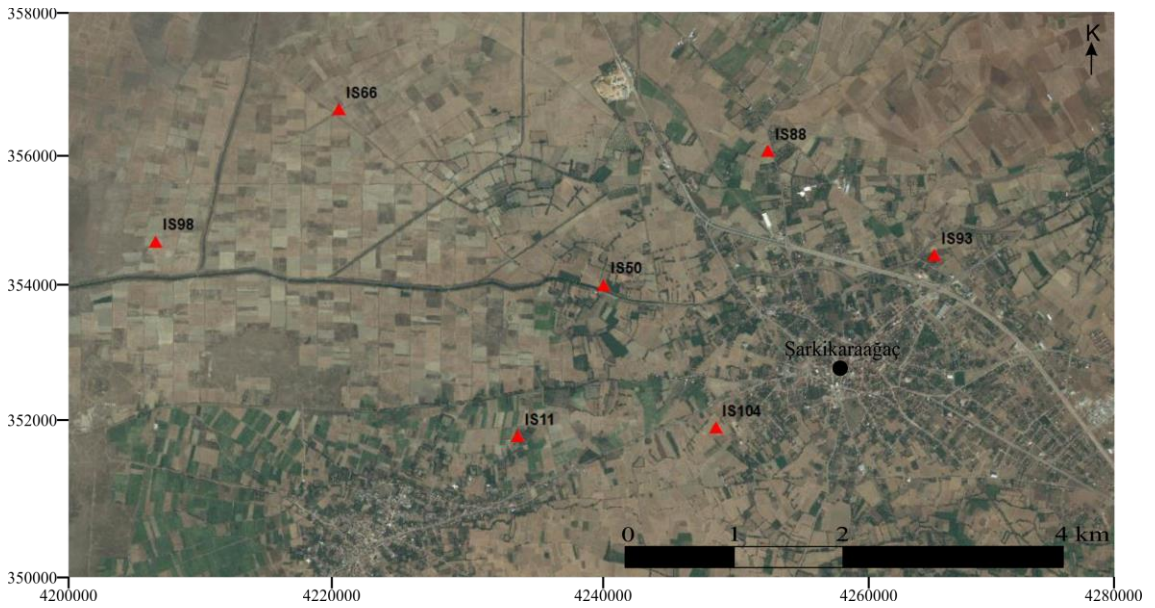
**Soyaslan ve Hepdeniz 2018;** Beyşehir Gölü Havzasının hidrolojik ve hidrojeolojik açıdan değerlendirilmesini yapmışlar, litolojik birimleri hidrojeolojik özelliklerine göre; Taneli Gözenekli akifer ortam, erime çatlaklı kaya akifer ortam, akitard ortam, akiklöd ortam, akifüj ortam 1 ve akifüj ortam 2 olmak üzere altı alt sınıf ayırt etmişlerdir.

### 3. MATERYAL VE METOT

Şarkikaraağaç (Isparta) kömürlerinin organik jeokimyası ve iz element dağılımını konu eden tez çalışması kapsamında incelemeler arazi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki aşamada yürütülmüştür.

#### 3.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları kapsamında inceleme alanına ait mevcut jeolojik haritalar arazide denetlenmiş, birimlere ait gözlemler yapılmış ve havzayı temsil edecek şekilde seçilen 7 adet sondaj kuyusundan karot örnekleri belirli bir derinliği temsil edecek şekilde nokta numunesi olarak alınmıştır. Örneklerin alındığı sondaj kuyularının konumları Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanında örnekleme yapılan kuyuların konumları (Anonim 1)

#### 3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları kapsamında TOC-Piroliz analizi, XRD tümkaya ve kil analizleri Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) laboratuvarlarında, organik petrografi analizleri Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Laboratuvarlarında, ana-iz element analizleri ise ACME Analitik laboratuvarlarında (Kanada) gerçekleştirilmiştir.

##### 3.2.1. TOC-piroliz analizi

Kömür/kömürlü birimlere ait örnekler üzerinde organik madde miktarı, tipi ve olgunlaşma seviyesinin belirlenmesi ve kaynak kaya potansiyelinin ortaya çıkarılması amacıyla toplam organik karbon (TOC)-piroliz analizleri Rock-Eval VI cihazında Fransa Petrol Enstitüsü standardına (IFP 160000) uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Cihazın çalışma prensibine göre analiz piroliz aşaması ve oksidasyon aşaması olmak üzere iki aşamada yapılmaktadır. Piroliz aşamasında 100 mg öğütülmüş örnek 300

°C'de 3 dakika ısıtılır ve bu sürenin sonunda dakikada 25 °C artacak şekilde 600 °C'ye kadar sıcaklık artışı sağlanır. Bu süreçte, örnekte bulunan serbest hidrokarbonlar 300 °C civarında buharlaşır ve alev iyonuzasyonu dedektöründe S<sub>1</sub> piki olarak ölçülür. 300 °C'den sonra ısıtma işleminin devam etmesiyle kerojen ısısal olarak parçalanması sonucu ortaya çıkan hidrokarbonlar S<sub>2</sub> pikleri olarak kaydedilir. S<sub>2</sub> pikinin maksimum değere ulaştığı sıcaklık ölçülür ve T<sub>max</sub> olarak adlandırılır. 300-390 °C arasında oksijen bileşikleri ayrışır ve açığa çıkan CO<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> piki olarak kaydedilir. Bu da 1 g kayadaki kerojenin ısısal olarak parçalanması sonucunda açığa çıkan CO<sub>2</sub>'in mg olarak miktarını belirtir. Oksidasyon aşamasında geriye kalan organik karbon oksijenli ortamda 600 °C'de yakılır ve elde edilen CO<sub>2</sub> S<sub>4</sub> piki olarak kaydedilir. TOC miktarı ise S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> ve S<sub>3</sub> değerlerinden otomatik olarak hesaplanır ve % ağırlık olarak ifade edilir. Piroliz sırasında CO ve CO<sub>2</sub>'den elde edilen organik karbonun toplamı rezidüel karbon (RC) olarak adlandırılır ve % olarak verilir. Bu analiz ile elde edilen S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, TOC değerleri kullanılarak HI (hidrojen indeksi), OI (oksijen indeksi), PY (potansiyel ürün), PI (üretim indeksi) hesaplanabilir. Hidrojen indeksi  $[HI = (S_2/TOC) \times 100]$  kaynak kayanın hidrojen zenginliğinin bir ölçüsüdür ve kerojenin hidrokarbon potansiyeli hakkında bilgi verir. Oksijen indeksi  $[OI = (S_3/TOC) \times 100]$  kaynak kayanın oksijen zenginliğini, kaynak kayalarının kalitesini ve termal olgunluğunu tahmin etmek için hidrojen indeksiyle bağlantılı olarak kullanılabilir (Tissot ve Welte 1984, Peters 1986). Bu indeks yüksek karbonat içerikli kayalarda güvenilir değildir. Üretim indeksi  $[PI = S_1/(S_1 + S_2)]$  üretilmiş olan hidrokarbonların potansiyel hidrokarbonlara olan oranıdır. Düşük oranlar ya olgunlaşmamış ya da aşırı olgunluk sonrası organik maddeyi gösterir. Yüksek oranlar göçen hidrokarbonları, olgunluk aşamasını veya kirlenmeyi gösterir. Potansiyel ürün  $(PY = S_1 + S_2)$  1 ton kayada bulunan kg cinsinden hidrokarbon miktarını verir.

### 3.2.2. Organik petrografi analizleri

Organik petrografi analizleri için kömür örneklerinin hazırlanması Stach vd. 1982 ve ASTM 1983'de belirtilen kömür petrografisi standartlarına uyularak gerçekleştirilmiştir. Parlatma briketlerinin hazırlanması için analizi yapılacak olan örnekler kurutulup 1 mm'lik elekten geçecek şekilde öğütülür, silindirik kalıplar içerisine özel polyester sertleştirici ile beraber konur. Sertleşme işlemi tamamlandıktan sonra farklı tane boyutunda parlatma tozları ve sıvılar kullanılarak hazırlanmış parlatma solüsyonları döner diskler üzerine dökülür, diskin dönme yönünün tersine çevrilerek parlatılması sağlanır. Maseral analizi için parlatma disklerinin incelenmesi üstten aydınlatmalı mikroskopta gerçekleştirilmiş, 32x yağlı objektif, kırılma indisi % 1,518 olan parlatma yağı kullanılmıştır. Nokta sayıcı yardımı ile en az 500 nokta olmak üzere örnek taranmıştır. Yansıma ölçümleri için yansıma değeri % 0,548 olan safir standardı ve GEOR bilgisayar programı kullanılmış, minimum 100 noktada ölçümler gerçekleştirilmiştir. Böylece örneklere ait en büyük yansıma değeri (R<sub>max</sub>), en küçük yansıma değeri (R<sub>min</sub>) ve ortalama yansıma değeri (R<sub>mean</sub>, R<sub>o</sub>) belirlenmiş, ayrıca standart sapma değerleri de hesaplanmıştır.

### 3.2.3. XRD tüm kayaç ve kil analizleri

Kömür, kömüre ait taban, tavan ve ara kesme örneklerinin mineralojik bileşimlerini belirlemek amacıyla X ışınları toz difraktomları (XRD) çekilmiştir. XRD difraktom çekimleri için öncelikle örnekler kaba ve ince öğütme işlemlerine tabi



tutulmuş, halkalı öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiş ve özel bölmeli lam üzerine sıkıştırılarak konulmuştur. Tüm kayaç analizleri 2-60° 2θ çekim aralığında, detay kil analizi ise 2-40° aralığında normal, fırınlanmış ve glikollü olarak gerçekleştirilmiştir. Mineral tanımlamaları elde edilen difraktomlar üzerinden ASTM kartları kullanılarak yapılmıştır.

### 3.2.4. Ana-iz element analizleri

Kömür, kömüre ait taban, tavan ve ara kesme örneklerinin kimyasal bileşimlerini belirlemek amacıyla ana-iz element analizleri gerçekleştirilmiştir. ICP-AES (İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma-Atomik Emisyon Spektrometre) yöntemi uygulanarak analiz edilecek örneğin 0,2 g'ı LiBO<sub>2</sub> füzyon ve seyreltilmiş nitrik asit ile işleme tabi tutulmasıyla SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ana oksitleri ve Ni, Sc iz elementleri saptanmıştır. Bu analizde standart olarak SO-18/CSB kullanılmıştır. ICP-MS (İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometre) yöntemi uygulanarak örneklerin benzer işleme tabi tutulması ile de Ba, Be, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu elementleri saptanmıştır. 0,5 g örnek 3 ml 2-2-2 HCl-HNO<sub>3</sub>- H<sub>2</sub>O ile 95 °C'de bir saat bekletilerek çözülmüş ve 10 ml seyreltilerek ICP-MS yöntemi ile Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Hg, Tl, Se, F elementleri belirlenmiştir.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanı Isparta ilinin Şarkikaraağaç ilçesinde ( Afyon L26-c3 ve L26-c4), Ketin (1966) tarafından Toridler olarak adlandırılan kesimin bir kısmını oluşturan Isparta büklümünün kuzey doğu kısmında bulunmakta olup, Kuzey ve doğudan Sultandağları, güneyden ve batıdan ise Anamas Dağları ile çevrili olan Neojen havzasının doğu kesiminde yer almaktadır. Blumenthal (1963) tarafından tanımlanan Isparta büklümü, daha çok Neojen öncesi tektonizmanın bir ürünüdür ve KD-KB gidişli makaslama fayları ile biçimlendirilmiştir (Yağmurlu 1991b). Orta ve Batı Anadolu'da, Üst Miyosen sonu-Pliyosen başında ise gerilme tektoniği etkin olmaya başlamış ve günümüze dek süregelmiştir. Neotektonik dönem olarak adlandırılan bu dönemde, akarsu yatağı, delta ve göl ortamlarında oluşmuş tortullar, bunlarla yanal-düşey geçişli ve eş yaşlı alkalin volkanizma ürünleri ile bunları denetleyen blok-faylanma türündeki tektonik rejim etkili olmuştur. Isparta büklümünün kuzey kısmı, KD-GB, KB-GD ve K-G gidişli çekim fayları arasında kalan, yer yer çöküntü, yer yer ise yükselti alanları ile temsil edilen çok sayıda bloktan oluşmaktadır (Koçyiğit 1983). Çalışma alanının da içinde bulunduğu çöküntü havzası, Neojen'de başlayan aşınma ve taşınma prosesleri ile Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal tortullar ve alüvyonlarla doldurulmuştur.

Sultandağlarının büyük bir kısmını oluşturan metamorfik kayalar ile karbonatlar, Anamas Dağları'nın büyük bölümünü oluşturan Beydağları kireçtaşları ve Beyşehir-Hoyran naplarını oluşturan ofiyolitik karmaşık çalışma alanının hem temelini, hem de kaynak kayasını oluşturur (Boray vd. 1985). Yaşları Pliyosen ile Miyosen arasında değişen Neojen tortulları yanal olarak genellikle de girik olan litofasiyes sınırlarıyla ayrılmışlardır ve 800 m kalınlık sunarlar (Şekil 4.1). Havzanın orta bölümlerinde genellikle gölsel tortullar, kenar kesimlerinde ise alüvyonal yelpaze ve akarsu ortamında gelişmiş kırıntılı tortullar yer almaktadır. Havzayı dolduran tortulların çökelim ortamlarının havza içerisindeki dağılımı ve birbirleriyle olan stratigrafik ilişkileri göz önünde bulundurulduğunda çalışma alanının kapalı bir dağarası havza olduğu sonucuna varılmaktadır (Yağmurlu 1991a).



oluşmaktadır (Elitok 2000). Yumuşak morfolojileri ve yeşil renkleriyle bölgedeki diğer kayalardan kolaylıkla ayrılabilirler. Bölgedeki tüm tektonik olaylar ve metamorfizma süreçlerine maruz kalan bu kayalar oldukça kıvrımlı ve kırıklı bir yapı sunarlar (Öncel 1995). Birimin yaşı Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen olarak kabul edilmiştir (Dean ve Mono 1970; Özgül ve Gedik 1973; Demirkol 1977; Öztürk vd. 1981). Çalışma alanında yer yer, Çaltepe Formasyonu, Fele formasyonu ve Hacılabaz Formasyonu, Seydişehir Formasyonu içerisinde tektonik dilimler halinde bulunur (Kanbur 2006). Formasyonun çökme ortamı duraysız, çoğunlukla şelf ilerisi ortam koşullarını yansıtmaktadır (Öncel 1995).

Başlıca kumtaşı, çakıltası ve merceksele kireçtaşlarından oluşan Fele Formasyonu ilk olarak Öztürk vd. 1981 tarafından tanımlanmıştır. Üstte Hacılabaz Formasyonu ile uyumsuz dokanak sunan Fele Formasyonu, Seydişehir Formasyonu ve Çaltepe Formasyonu üzerinde de uyumsuz olarak bulunmaktadır (Örmeci 2005). Birimin yaşı Öztürk vd. 1981 tarafından Triyas-Dogger olarak verilmiştir.

Hacılabaz Formasyonu ilk kez Demirkol (1977) tarafından tanımlanmıştır. Birimin tabanında dolomitler bulunur ve bu dolomitlerin üstüne gelen doleritlerin de üzerinde ayrışmalarıyla oluşmuş lateritik boksitler bulunur (Öncel 1995). Bunların da üzerinde dolomit arakatlı kireçtaşları ve dolomitik kireçtaşları yer almaktadır (Elitok 2000). Altta Fele Formasyonu ile uyumsuz dokanak sunarken, Kretase-Alt Eosen aralığında Anamasdağ kireçtaşları ile yanall geçişli olarak gözlenir ve Gölgele Formasyonu ile uyumlu dokanak sunar. Öncel (1995) fosil içeriğine göre, formasyonun yaşının Jura-Kretase aralığında olduğunu savunmaktadır. Demirkol (1981) Hacılabaz Formasyonu üzerinde Alt Eosen'e kadar kesiksiz bir karbonat çökelişini gözlemlemiş ve birimin yaşını Dogger/Alt Eosen olarak kabul etmiştir. Formasyonun çökme ortamı lagüner ortamdandır, şelf ortamına gelişen denizel koşulları işaret etmektedir (Öncel 1995).

Bol kırıklı ve çatlaklı, yer yer dolomitik ve kristalin dokulu kireçtaşlarından oluşan birim, Dumont ve Kerey (1975) tarafından Anamas-Akseki Birliği, Özgül (1976) tarafından Geyikdağı Birliği, Şenel vd. (1992, 1996) tarafından Anamas-Akseki Otoktonu olarak adlandırılırken, Öztürk vd. (1981) tarafından Anamasdağ Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Fele Formasyonunu uyumsuz olarak üzerleyen birim, Gölgele Formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Birimin yaşı Elitok (2000) tarafından Kretase-Alt Eosen olarak belirlenmiştir (Örmeci 2005).

İlk olarak Öztürk vd. (1981) tarafından adlandırılan Gölgele Formasyonu kiltası, silttaşı, kumtaşı ve kireçtaşından oluşmaktadır. Kızıldağ Ofiyolitleri tarafından bindirmeli olarak üzerlenen birimin yaşı Elitok (2000) tarafından Orta Eosen olarak belirlenmiştir.

Tabanda amfibolit, serpantin, kuvarsit, kalkşist ile başlayıp, bunların üzerinde başlıca harzburjit ve dunit ile devam eden ve içerisinde diyabaz, piroksenit ve pegmatitik gabrolar bulunduran bir peridotit napı olan Kızıldağ Ofiyolitleri Öztürk vd. (1981) tarafından adlandırılmıştır. Hacılabaz Formasyonu ve Gölgele Formasyonu ile bindirmeli olarak bulunan Kızıldağ Ofiyolitlerinin yaşı Elitok (2000) tarafından Üst Eosen olarak verilmiştir (Örmeci 2005).

Yüksek seviyede deformasyon nedeniyle kaotik bir yapı gösteren Eğirler Formasyonu Öztürk vd. (1981) tarafından adlandırılmıştır. Değişik boyutlarda volkanik, serpantin, ince tabakalı radyolarit, çört, silttaşı, çamurtaşı, kumtaşı, kireçtaşı blokları içeren birim Kızıldağ Ofiyolitleri üzerine tektonik olarak yerleşmiştir (Kanbur 2006). Birimin yaşı Öztürk vd. (1981) tarafından Üst Kretase olarak belirlenmiş, Elitok (2000) tarafından ise bölgesel deneştirme sonucu Paleosen'e kadar çıkabileceği belirtilmiştir (Örmeci 2005).

Eğirler Formasyonu tarafından uyumsuz olarak üzerlenen Deliktaş Formasyonu rekirtalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Yer yer alüvyonlarla örtülü olan birimin yaşı Öztürk vd. (1981) tarafından Üst Triyas olarak belirlenmiştir.

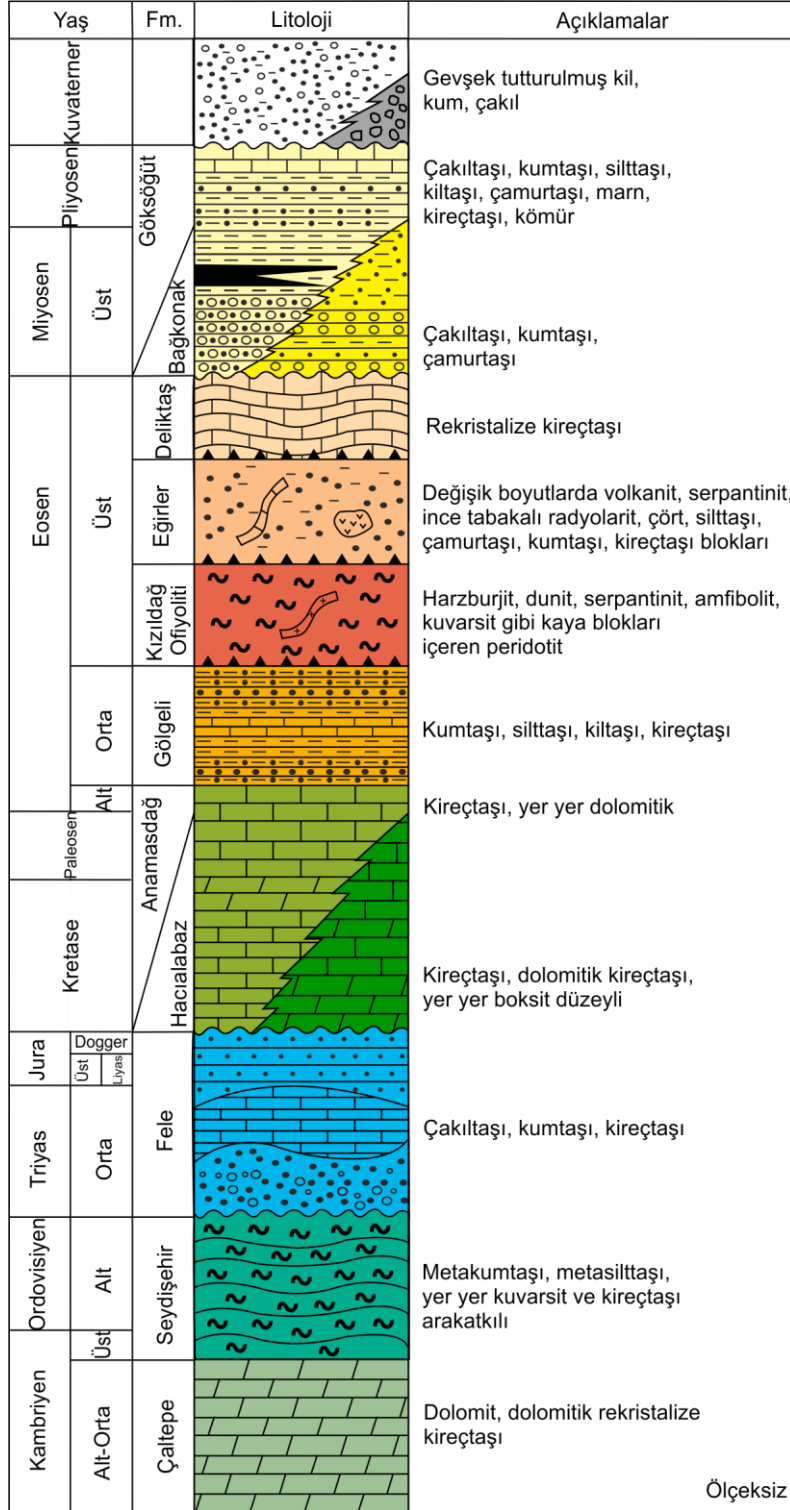
#### **4.2.2. Neojen yaşlı birimler**

##### **4.2.2.1. Bağkonak Formasyonu**

Formasyon ilk olarak Demirkol vd. (1977) tarafından adlandırılmıştır. Çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşından oluşmaktadır. Formasyonun ana bileşenini oluşturan çakıltaları çok bileşenli, köşeli-yarı köşeli, kırmızımsı, sarımsı ve krem renginde, ortaiyi pekişmiş, kötü boylanmalı ve çoğunlukla tane desteklidir. Yer yer zayıf tutturulmuş, yer yer de sıkı tutturulmuş karbonat çimento da gözlenmektedir. Çakıltaları içerisinde üste doğru kumtaşı ve çamurtaşı arakatıkları izlenmektedir. Birim içerisindeki kumtaşları kötü boylanmalı, yeşil-krem renklerinde, kolay ufalanabilir özelliktedir. Çamurtaşları ise açık yeşil-gri tonlarında izlenmektedir. Üst seviyelere doğru ince katmanlar şeklinde kireçtaşları gözlenmektedir. Formasyon içerisinde merceksel kömür oluşumlarına rastlanılmaktadır. Neojen öncesi birimleri uyumsuz olarak üzerleyen Bağkonak Formasyonu, Göksöğüt Formasyonu ile yanall geçişlidir ve alüvyon ile uyumsuz olarak örtülür. Bağkonak Formasyonuna ait paleontolojik bulgu belirlenememiş olmakla birlikte, birimin yaşı stratigrafik konumuna en azından Üst Miyosen olarak kabul edilmiştir (Demirkol 1977, 1981). Birimin Demirkol (1977) tarafından akarsu fasiyesinde çökeldiği kabul edilmiş, Yağmurlu (1991a) ve Topak (2006) tarafından ise göl kenarı alüvyal fan ortamı olarak yorumlanmıştır.

##### **4.2.2.2. Göksöğüt Formasyonu**

Kumtaşı, silttaşı, kiltası, çamurtaşı, marn, kireçtaşından oluşan birim Demirkol (1977) tarafından adlandırılmıştır. Birim linyitli seviyeler içermektedir. Formasyonun üst kısmını oluşturan kireçtaşları krem renkli, traverten görünümlü, bol çatlaklı, bol gözenekli, gastropodlu, çamurtaşı ve killi kireçtaşı arakatıklıdır. Deliktaş Formasyonunu uyumsuz olarak üzerleyen Göksöğüt Formasyonu, Bağkonak Formasyonu ile yanall geçişlidir ve alüvyon ile uyumsuz olarak örtülür. Yağmurlu (1991a) birimin yaşını Orta-Üst Miyosen, Demirkol (1982) ise Pliyosen olarak kabul etmişlerdir. Bu çalışmada, söz konusu veriler ışığında Formasyonun yaşı Üst Miyosen- Pliyosen olarak kabul edilmiştir. Birimin çökelim ortamıyla da ilgili farklı görüşler bulunmaktadır; Yağmurlu (1991a) tatlı su/göl ortamında çökeldiğini belirtirken, Demirkol (1977) ise taşkın ovası ortamı olabileceğini vurgulamıştır.

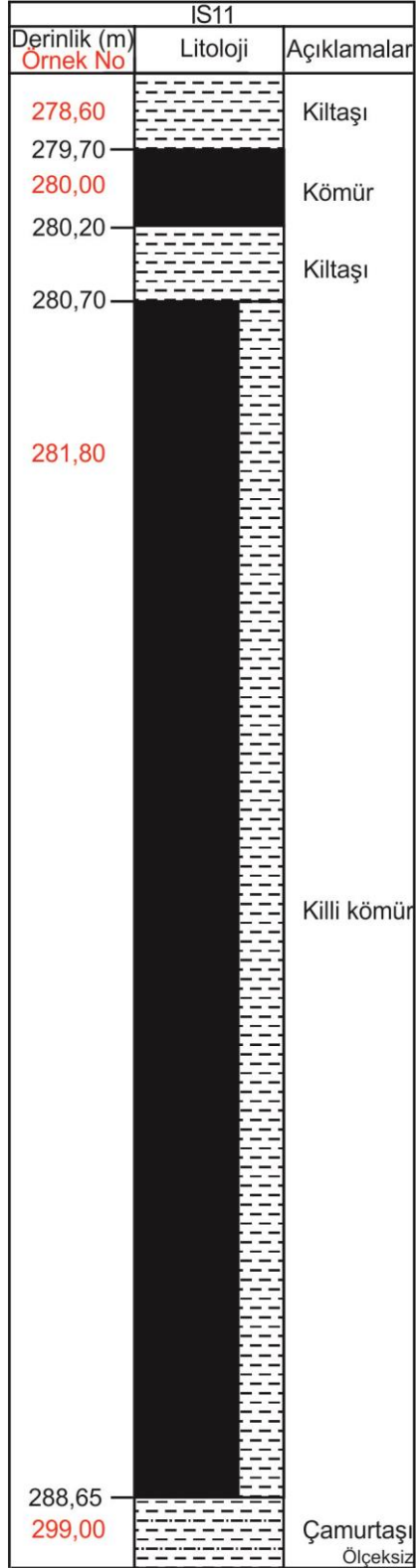


**Şekil 4.2.** Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Elitok 2000 ve Kanbur 2006'dan değiştirilerek alınmıştır)

Göksöğüt Formasyonu içerisinde ince-orta-kalın tabakalanmalar halinde bulunan linyit, yumuşak veya orta sertlikte kahverengi-siyah renklerde gözlenmiştir. Katman sayısı 1-7 arasında değişmektedir. Kömür katmanlarının eğimi genellikle yataya yakındır. Kömürlere ait kısa analiz sonuçlarının ortalamaları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Örneklerin alındığı kuyularda kömürlü birimlere ait dikme kesitler çıkarılmış ve örnek yerleri bu dikme kesitler üzerinde belirtilmiştir (Şekil 4.3-4.9).

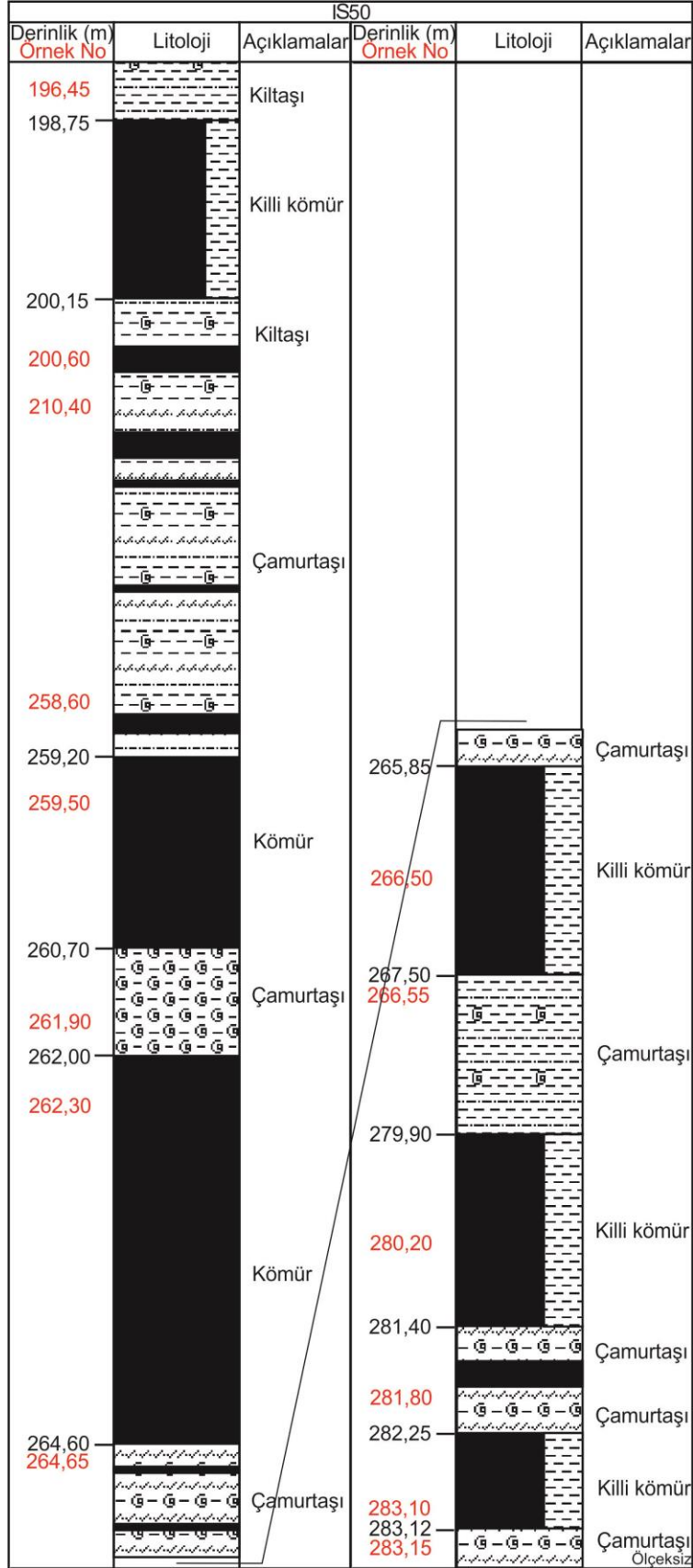
**Çizelge 4.1.** Kısa analiz sonuçlarının ortalama değerleri (Taka vd. 2014)

	Orjinal kömür	Havada kuru kömür
Su %	43,94	7,20
Kül %	22,96	37,73
Uçucu madde %	26,37	44,01
Sabit C %	6,73	11,06
Yanar S %	0,79	1,30
Külde S %	0,80	1,32
Alt ısıl değer Kcal/kg	1245	24,32

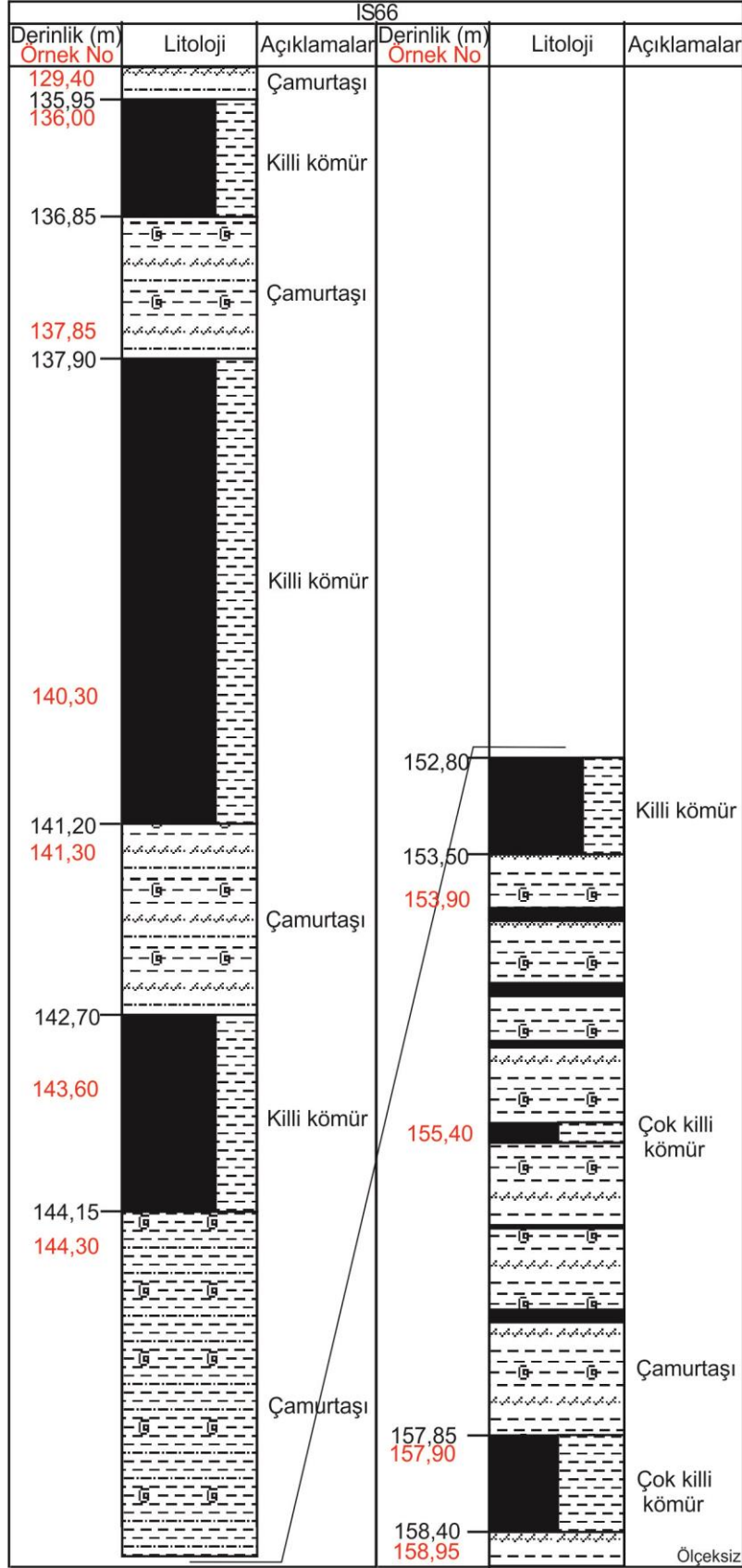


Şekil 4.3. IS11 no'lu sondajda kömür seviyelerine ait dikme kesit

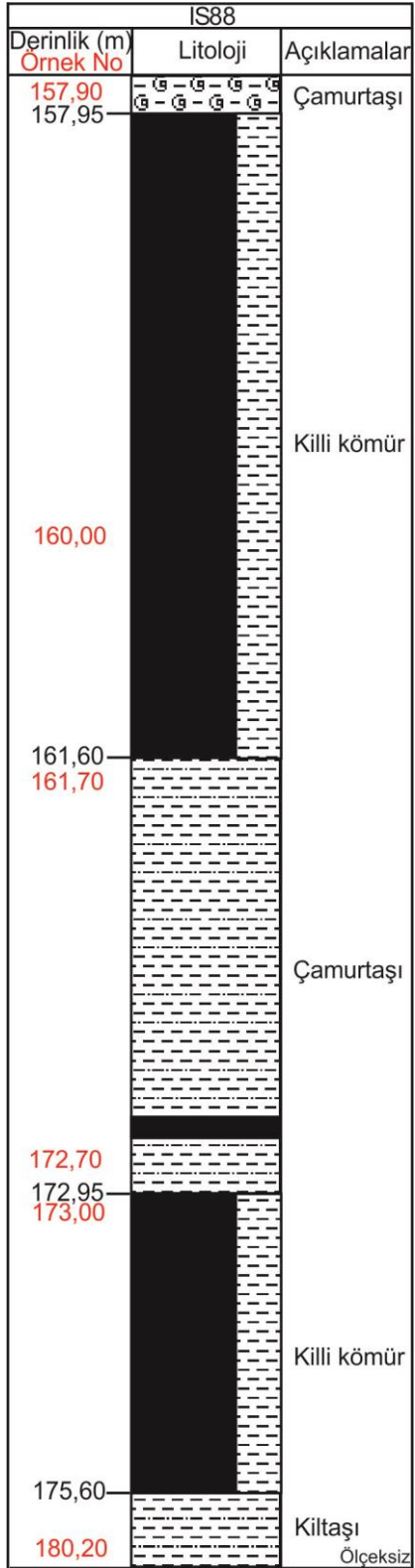




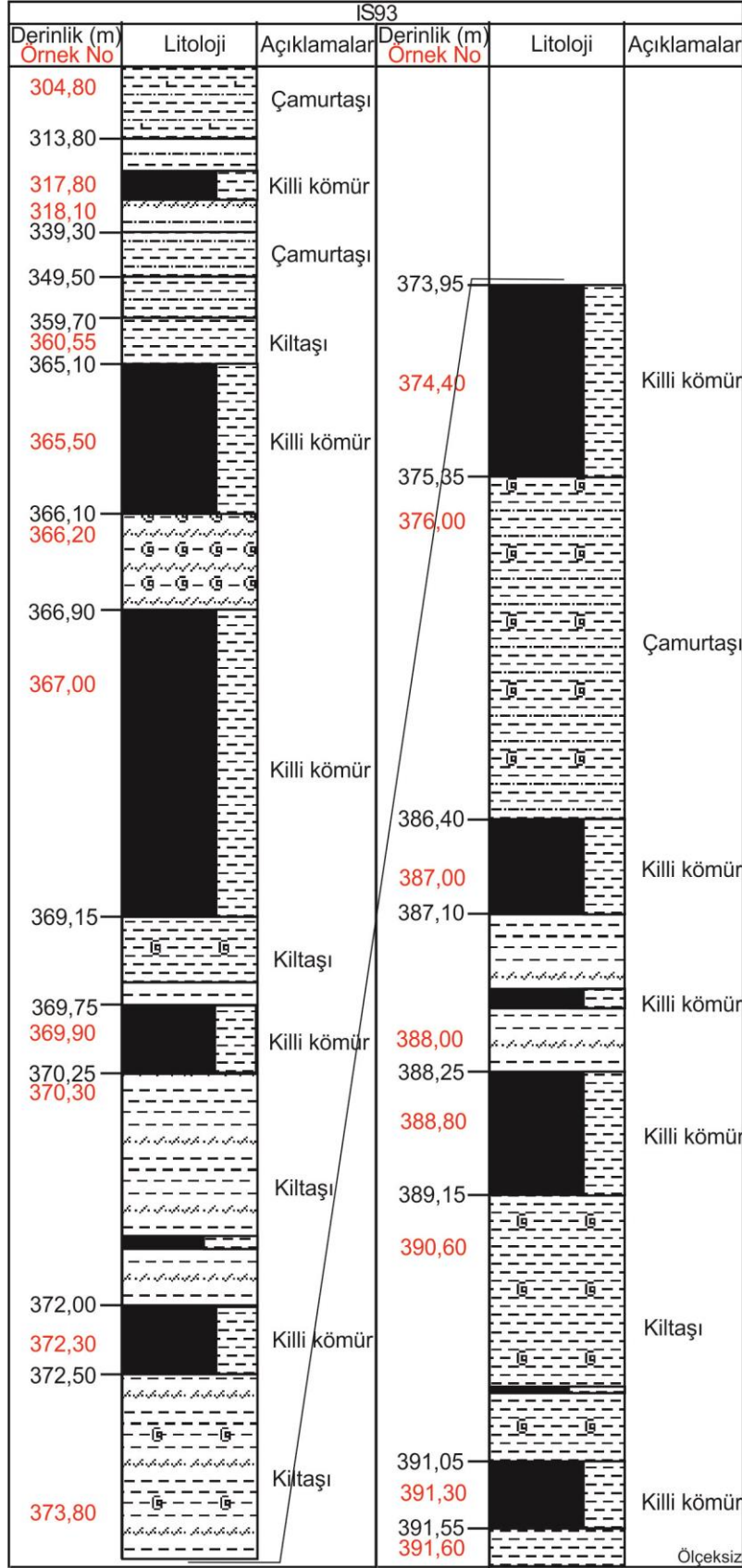
Şekil 4.4. IS50 no'lu sondajda kömür seviyelerine ait dikme kesit



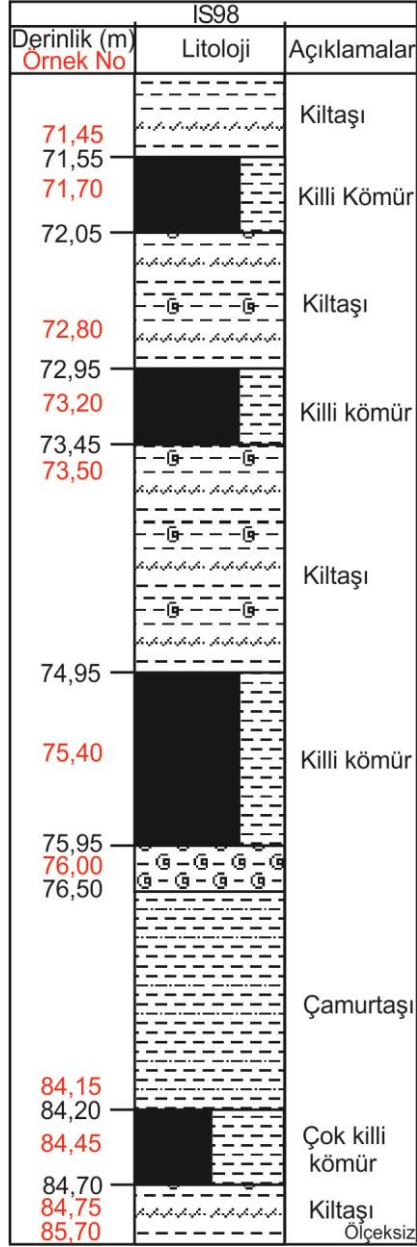
Şekil 4.5. IS66 no'lu sondajda kömür seviyelerine ait dikme kesit



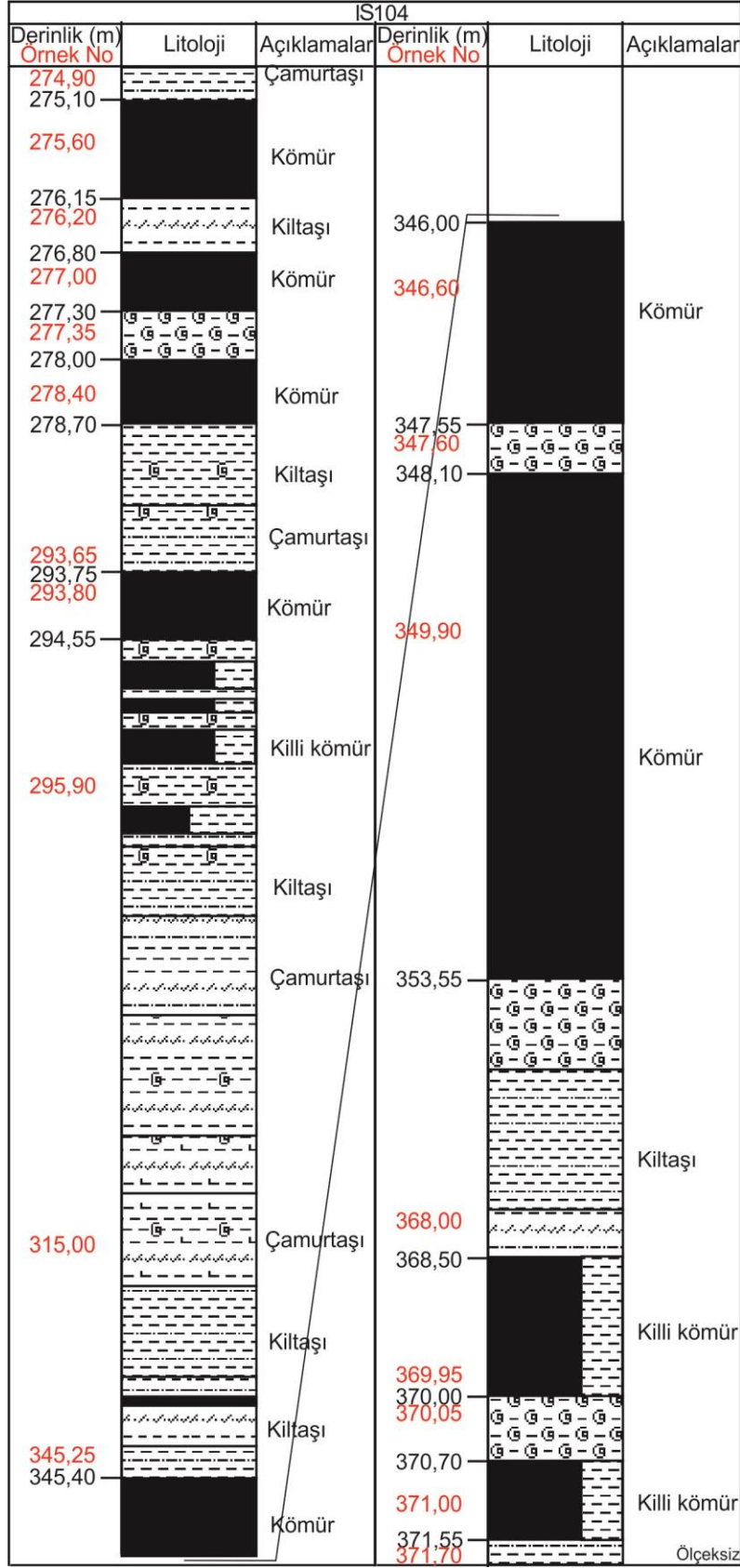
Şekil 4.6. IS88 no'lu sondajda kömür seviyelerine ait dikme kesit



Şekil 4.7. IS93 no'lu sondajda kömür seviyelerine ait dikme kesit



Şekil 4.8. IS98 no'lu sondajda kömür seviyelerine ait dikme kesit



Şekil 4.9. IS104 no'lu sondajda kömür seviyelerine ait dikme kesit

### 4.2.3. Alüvyon ve yamaç molozu

Çalışma alanının da yer aldığı ova içerisinde, Kuvaterner öncesi kaya birimlerine ait çok kötü boylanmalı, gevşek tutturulmuş veya tutturulmamış killi, siltli kum, çakıl ve bloklardan oluşmaktadır. Alüvyon, çalışma alanındaki tüm birimleri aşılma uyumsuzlukla üzerler. Yamaç molozu çalışma sahasının güney kesimlerinde, özellikle Kızıldağ Ofiyolitlerinin dokanaklarında gözlemlenen ve bu birimden türeyen çakıllardan oluşmaktadır.

### 4.3. Yapısal Jeoloji

Çalışma alanında bulunan birimler birçok orojenetik hareketten etkilenmiş, Kaledoniyen, Hersiniyen ve Alpin orojenez fazları etkili olmuştur. Paleozoyik yaşlı birimler tüm bu orojenez fazlarından etkilenirken, Mesozoyik yaşlı sadece Alpin orojenezinden etkilenmiştir. Alpin orojenezini Senozoyik'te daha çok bölgesel ölçekte yükselme ve alçalma hareketleriyle kendini göstermiş, yükselen kısımlarda aşınma, alçalan kısımlarda ise kaba kırıntılar çökelmiştir (Öncel 1995).

Çalışma alanının güney ve batı kesiminde yer alan allokton ofiyolit karmaşığının yerleşim yaşı Koçyiğit (1983) tarafından Üst Lütésiyen olarak belirlenmiştir. Ofiyolit karmaşığına düşük açılı bindirme fayları ile gelen kireçtaşı napları bölgede yeni bir sıkışma rejiminin gerçekleştiğini gösterir. Orta Miyosen yaşlı gölgesel tortulların ofiyolit karmaşığı ve kireçtaşı naplarını uyumsuz olarak üzerlemiş olması, allokton kireçtaşı naplarının ofiyolitik karmaşık üzerine en geç Orta Miyosen başında yerleştiğine işaret eder. Langiyen'de gerçekleşen sıkışma rejiminin etkisiyle KB-KD gidişli doğrultu atımlı faylar, D-B uzanımlı bindirme fayları ve K gidişli normal faylar gelişmiştir. Bunu izleyen dönemde bölgede gelişen gerilme tektoniği nedeniyle KB-KD gidişli doğrultu atımlı faylar, eğim atımlı normal faylara dönüşmesiyle çalışma alanının da içerisinde bulunduğu çöküntü havza oluşmaya başlamıştır. Havzayı sınırlayan bu faylar tortullaşma dönemi boyunca etkin olan büyüme fayı özelliğindedir. Bu büyüme fayları Miyosen başından itibaren başlayıp, Pliyosen boyunca etkinliğine devam etmiş çekme tektoniğinin ürünüdür. Sağ yanal doğrultu atımlı Beyşehir Fayının bölgedeki uzanımı olan Çakırcal Fayı havzayı doğudan sınırlar. Burdur-Hoyran faylarının uzanımı olan ve havzayı KD doğrultusunda kateden oblik atımlı Kumdanlı Fayı bölgedeki diğer bir faydır. Tektonik evrimin son döneminde KKD-GGB doğrultulu sıkışma kuvvetlerinin etkisi altında gelişmiştir. Bölgedeki Pliyosen tortullarını ve alüvyonları da etkileyen bu fay günümüzde aktifliğini sürdürmektedir (Yağmurlu 1991b).

Kaledoniyen, Hersiniyen ve Alpin orojenez fazları bölgedeki temeli oluşturan yaşlı birimlerin kıvrımlanmasına sebep olmuştur. Kıvrımlanma kaya türleriyle ilişkili olup, kireçtaşlarında hafif derecede gözlenirken, daha plastik özellikteki meta-sedimanter kayaçlarda oldukça büyük çaplı kıvrımlanmalar gözlenmektedir. Kıvrım eksenleri Sultandağları'nın morfolojik gidişiyile uyumlu olarak yaklaşık KB-GD yönünde, dalımları ise genellikle GD yönündedir (Kıran 2004). Neojen birimlerinde ise herhangi bir kıvrımlanma gözlenmemektedir.

#### 4.4. Kömürlerin Organik Jeokimyasal Özellikleri

Çalışma bölgesine ait örneklerin organik madde tipi, miktarı ve olgunluğunun belirlenmesi amacıyla 37 örnekte Rock-Eval pirolizi analizi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.2). Bu analiz ile örneklere ait TOC, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, T<sub>max</sub>, HI, OI, PI, PY ve S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub> değerleri belirlenmiştir.

##### 4.4.1. Organik madde miktarı

Toplam Organik Karbon (TOC) değeri, tortul kayaç içerisindeki organik madde miktarının ağırlıkça yüzdesi olarak ifade edilir ve kaya içerisinde serbest halde bulunan hidrokarbonlar ile kerojene ilişkin organik karbonun toplamına eşittir (Tissot ve Welte 1984; Jarvie 1991). Toplam Organik Karbon analizi, organik maddenin hava veya oksijen atmosferi altında yakılması ile ölçülür ve Rock-Eval VI cihazında bulunan ek bir modül ile otomatik olarak hesaplanır. Çalışma alanına ait örneklerin TOC miktarı % 10,19-47,05 arasında değişmekte olup, ortalama % 32,4 olarak hesaplanmıştır.

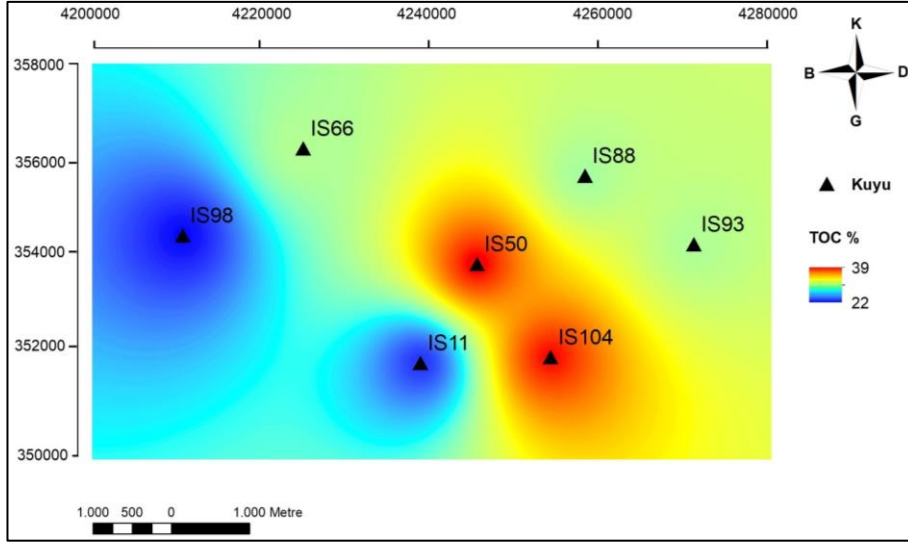
Organik madde korunumu için biyolojik üretkenlik ve sedimantasyon süreçlerinin optimum olması gerekmektedir. Havzanın KD kesimlerinde yer alan kuyulardan alınan örneklerde TOC miktarı KB yer alan kuyulardan alınan örneklerden belirgin şekilde yüksektir (Şekil 4.10). Bu durumun havzanın KD sında organik madde korunumunu denetleyen faktörlerin daha optimal oluşundan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Çizelge 4.2. Örneklere ait Rock-Eval piroliz sonuçları

Kuyu No	Derinlik (m)	TOC	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	T <sub>max</sub>	HI	OI	PI	S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub>	PY	RC%	OF
IS11	253,50	31,95	1,74	54,4	33,96	427	170	106	0,03	1,60	56,14	25,51	C
IS11	280	18,03	2,4	18,19	22,56	415	101	125	0,12	0,81	20,59	15,02	CD
IS11	281,80	20,13	3,39	25,26	26,90	423	125	134	0,12	0,94	28,65	16,3	C
IS50	200,60	40,39	2,06	64,77	42,96	432	160	106	0,03	1,51	66,83	32,59	C
IS50	259,50	45,38	3,49	92,38	41,18	428	204	91	0,04	2,24	95,87	34,84	C
IS50	262,30	40,04	2,31	63,49	42,35	433	159	106	0,04	1,50	65,80	32,23	C
IS50	266,50	42,56	3,17	64,58	41,93	429	152	99	0,05	1,54	67,75	34,61	C
IS50	280,20	28,01	3,43	52,24	28,22	433	187	101	0,06	1,85	55,67	21,83	C
IS50	283,10	39,75	3,52	70,41	41,12	429	177	103	0,05	1,71	73,93	31,34	C
IS66	136,00	15,11	2,51	26,15	21,74	443	173	144	0,09	1,20	28,66	11,7	C
IS66	140,30	42,11	2,18	73,05	40,87	430	173	97	0,03	1,79	75,23	33,63	C
IS66	143,60	42,34	1,26	35,59	45,67	435	84	108	0,03	0,78	36,85	36,79	CD
IS66	155,40	32,03	2,76	45,29	36,69	433	141	115	0,06	1,23	48,05	26,05	C
IS66	157,90	22,33	1,67	37,3	31,32	438	167	140	0,04	1,19	38,97	17,62	C
IS88	160,00	20,95	1,68	29,97	24,78	431	143	118	0,05	1,21	31,65	17,03	C
IS88	173,00	39,85	3,44	81,38	47,21	429	204	118	0,04	1,72	84,82	30,42	C
IS93	317,80	10,45	1,94	13,55	14,89	408	130	142	0,13	0,91	15,49	8,34	C
IS93	365,50	36,33	3,25	59,99	44,37	423	165	122	0,05	1,35	63,24	28,57	C
IS93	367,00	34,97	2,81	55,16	39,46	428	158	113	0,05	1,40	57,97	27,81	C
IS93	369,90	28,99	2,31	43,28	36,13	426	149	125	0,05	1,20	45,59	23,23	C
IS93	372,30	24,38	1,6	33,14	34,09	425	136	140	0,05	0,97	34,74	19,62	C
IS93	374,40	31,28	1,77	32,65	50,18	420	104	160	0,05	0,65	34,42	25,8	CD
IS93	387,00	34,97	3,43	87,66	40,91	432	251	117	0,04	2,14	91,09	25,19	C
IS93	388,80	31,9	2,16	42,79	44,20	424	134	139	0,05	0,97	44,95	25,73	C
IS93	391,30	42,68	1,28	48,72	46,38	427	114	109	0,03	1,05	50,00	35,81	CD
IS98	71,70	10,19	0,55	11,69	12,30	436	115	121	0,04	0,95	12,24	8,55	CD
IS98	73,20	14,52	0,52	26,06	16,92	438	179	117	0,02	1,54	26,58	11,47	C
IS98	75,40	36,38	1,22	26,69	39,06	398	73	107	0,04	0,68	27,91	31,78	CD
IS98	84,45	28,97	2,16	57,36	36,19	434	198	125	0,04	1,58	59,52	22,19	C
IS104	275,60	26,66	1,73	34,1	36,59	426	128	137	0,05	0,93	35,83	21,77	C
IS104	277,00	28,12	1,31	36,04	32,18	431	128	114	0,03	1,12	37,35	23,39	C
IS104	278,40	43,55	1,88	53,68	42,84	426	123	98	0,03	1,25	55,56	36,61	CD
IS104	293,80	41,6	1,07	52,5	42,84	427	126	103	0,02	1,23	53,57	34,69	C
IS104	346,60	47,05	4,01	137,38	33,93	428	292	72	0,03	4,05	141,39	33,35	BC
IS104	349,90	41,21	1,23	59,45	41,09	431	144	100	0,02	1,45	60,68	33,96	C
IS104	369,95	42,31	1,27	57,15	43,96	428	135	104	0,02	1,30	58,42	34,87	C
IS104	371,00	42,7	1,73	104,03	35,26	431	244	83	0,02	2,95	105,76	31,86	C

TOC: Toplam Organik Karbon (ağırlıkça %), S<sub>1</sub>: mgHC/g kaya, S<sub>2</sub>: mgHC/g kaya, S<sub>3</sub>: mg CO<sub>2</sub>/g kaya, T<sub>max</sub>: °C, HI: Hidrojen İndeksi (mgHC/g TOC), OI: Oksijen İndeksi (mg CO<sub>2</sub>/g TOC), PI: Üretim İndeksi, PY: Potansiyel Ürün (mg HC/g kaya), S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub>: Hidrokarbon tip indeksi, RC: Rezidüel karbon, OF: Organik Fasiyes (Jones 1987)



Şekil 4.10. TOC değerlerinin bölgesel yoğunluk haritası

#### 4.4.2. Organik madde türü

Rock-Eval piroliz verileri kullanılarak kerojen tipleri ile organik maddenin türü de belirlenebilmektedir. Tissot ve Welte 1984, kerojen tiplerini kimyasal bileşimlerine göre üç grupta toplamıştır;

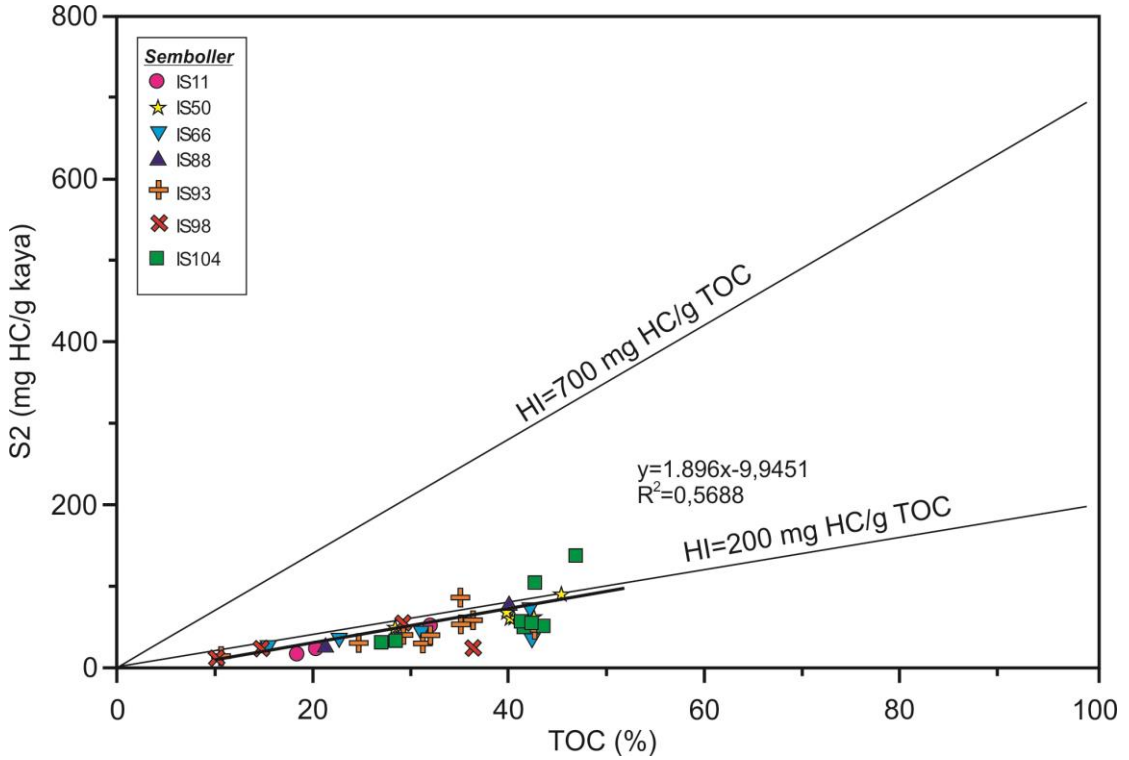
**Tip I:** Bu tip kerojenler yüksek H/C oranına, düşük O/C oranına sahiptirler ve petrol-gaz üretme potansiyelleri yüksektir. Algal lipidlerden veya mikrobiyal aktivitelerle lipid oranı yükselmiş organik maddeden oluşurlar. Sediman girdisinin yüksek olduğu göl ve denizel ortamlarda oluşurlar. I. tip kerojende alifatik zincirler ve aromatikler yoğun miktarda bulunur.

**Tip II:** H/C oranları ile petrol-gaz üretme potansiyelleri Tip I'e göre daha düşüktür. Lipid bileşenlerinden, özellikle de spor ve polenlerden oluşurlar. Çoğunlukla aromatik ve naftenik halkalardan oluşurlar.

**Tip III:** Yüksek karasal bitkilerden oluşan organik madde tipidir. Nispeten düşük H/C oranına ve yüksek O/C oranına sahiptirler. Çökelimin artması ile gömülmenin fazla olması durumunda önemli miktarda gaz üretme potansiyeli bulunmakta olup, petrol üretme potansiyeli zayıftır. Poliaromatikler ve alifatik zincirlerden oluşmaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen örneklerin organik madde tiplerini belirlemek için Langford ve Blanc-Valleron (1990) tarafından geliştirilen S<sub>2</sub>-TOC, Mukhopadhyay vd. (1995) tarafından geliştirilen HI-T<sub>max</sub> ve Espitalié vd. (1977) tarafından geliştirilen HI-OI diyagramları kullanılmıştır. S<sub>2</sub>, TOC ve HI arasındaki ilişkiye dayanılarak hazırlanan diyagramda; eğimi 2 olan doğrunun altında kalan alan Tip III, eğimi 2 ve 7 olan doğruların arasında kalan alan Tip II, eğimi 7 olan doğrunun üzerinde kalan alan ise Tip I kerojen olarak tanımlanır (Şekil 4.11). Bu diyagram üzerine düşürülen örneklere ait regresyon çizgisinin eğimi kaya içerisindeki piroliz edilebilir hidrokarbon yüzdesini vermektedir (Langford ve Blanc-Valleron 1990).

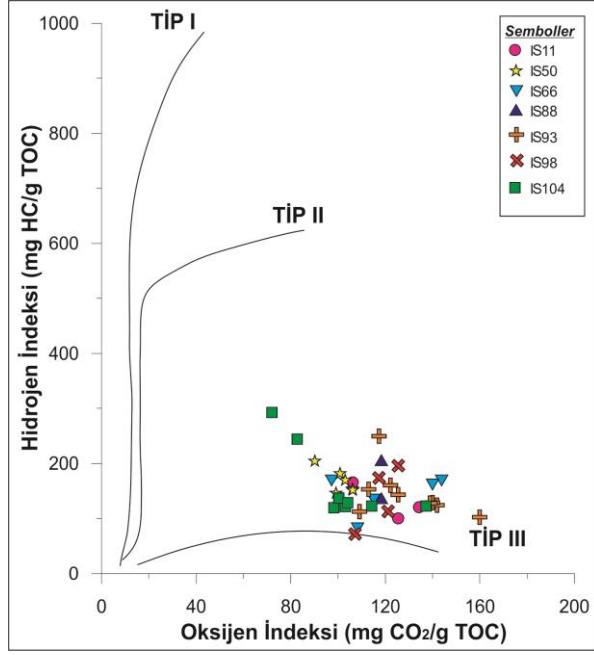
İncelenen örneklerin HI değeri 73-292 mg HC/g TOC arasında değişmektedir. Örnekler, S<sub>2</sub>-TOC diyagramında 3 örnek dışında Tip III kerojen alanında yer almaktadır. Üç örnek ise Tip II alanındadır. Tip III kerojene ait örnekler karasal bitki kökenli hümik organik madde, Tip II kerojene ait örnekler ise alg-karasal bitki kökenli karışık organik madde içermektedir. Bu diyagramda regresyon çizgisinin eğimi 1,9 olarak tespit edilmiş ve buna göre kömür/kömürlü birimlerin % 19 oranında piroliz edilebilir hidrokarbon oranına sahip olduğu hesaplanmıştır.



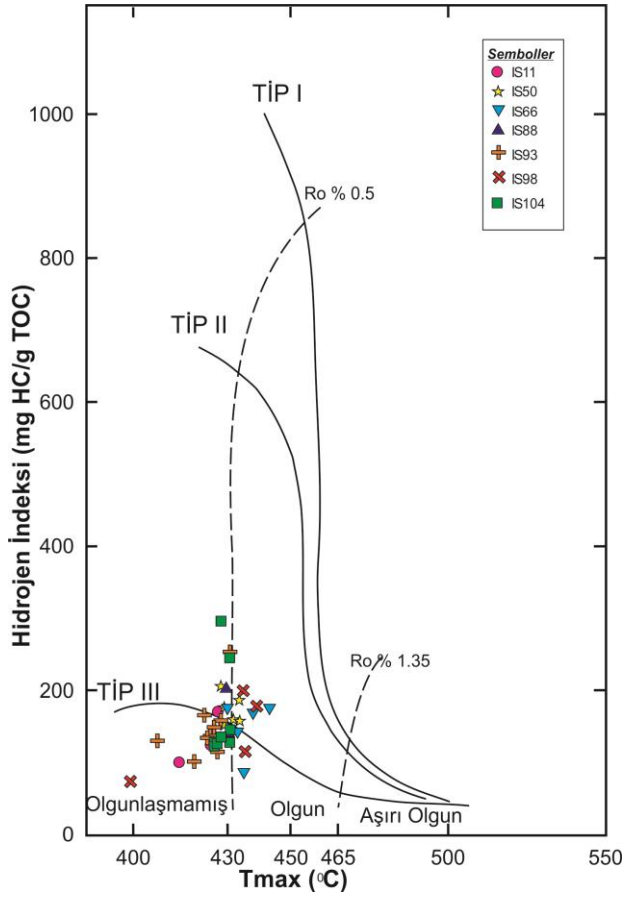
**Şekil 4.11.** İncelenen örneklerin S<sub>2</sub>-TOC diyagramı ve organik madde türleri (Langford ve Blanc-Valleron 1990)

Kerojen tipi, organik madde miktarından bağımsız olup, kerojenin elementel bileşimi ile yakından ilgili olan HI ve OI parametreleri tarafından da karakterize edilmektedir. Çalışma alanına ait örneklerin OI değerleri 72-160 mg CO<sub>2</sub>/g TOC arasında, HI değerleri 73-292 mg HC/g TOC arasında değişmektedir. HI-OI diyagramında örneklere ait değerler yerleştirildiğinde kerojen tipi baskın olarak III, çok az miktar da II olarak belirlenmiştir (Şekil 4.12).

Piroliz sonucu elde edilen ve S<sub>2</sub> pikinin maksimum olduğu andaki T<sub>max</sub> sıcaklığı ve HI verileri kullanılarak oluşturulan HI-T<sub>max</sub> diyagramı da kerojen tipini belirlemede kullanılmaktadır. T<sub>max</sub>, kerojenin olgunluğu kadar, tipine göre de değişmektedir (Hunt 1995). Örneklere ait Tmax değerleri 398-443 °C arasında değişmektedir. HI-T<sub>max</sub> diyagramında, örneklerin çoğunun Tip III kerojen alanında yer aldığı, birkaç örneğin ise Tip II kerojen alanında olduğu görülmektedir (Şekil 4.13).



Şekil 4.12. İnceleme alanının HI-OI kerojen tipi sınıflama diyagramı (Espitalié vd. 1977)



Şekil 4.13. İncelenen örneklerin HI-  $T_{max}$  diyagramındaki dağılımı (Mukhopadhyay vd. 1995)

#### 4.4.3. Organik maddenin olgunlaşma düzeyi

Organik maddenin olgunluğu, sedimanter bir havzadaki sıcaklık, basınç, gömülme ve depolanma sonrası geçen süre gibi çeşitli etkenler tarafından fiziksel ve kimyasal değişikliklere maruz kalan hidrokarbon bileşimi tarafından belirlenir (Tissot ve Welte 1984). Rock-Eval analizinden elde edilen verilerle ( $T_{max}$ , Üretim İndeksi (PI), HI- $T_{max}$  diyagramı) organik maddenin olgunluğu değerlendirilebilmektedir.  $T_{max}$  ve PI değerlerinin organik maddenin ısıl gelişimi ile yakından ilgili olduğu saptanmıştır. PI değerinin olgunlukla birlikte sürekli arttığı ve olgunluğu belirlemede kullanılabilecek yararlı bir parametre olduğu ifade edilmektedir (Tissot ve Welte 1984; Waples 1985).  $T_{max}$  ve PI arasında oldukça iyi bir korelasyon vardır (Tissot ve Welte 1984). 435-445 °C'den daha düşük  $T_{max}$  değerinin olgunlaşmamış, 435-445 °C ile 470 °C arasındaki  $T_{max}$  değerinin olgun ve 470 °C'den büyük bir  $T_{max}$  değerinin olgun bir kaynak kayayı işaret eder (Peters ve Moldowan 1993). PI değerine göre; 0,1'den küçük değerler olgunlaşmamış organik maddeyi, 0,1-0,3 arasındakiler petrol türetebilecek bir olgunluğu ve 0,3'ten büyük değerler ise gaz türetebilir aşırı olgun organik maddeyi belirtir (Merill 1991). Çalışmadaki örneklerin  $T_{max}$  değerleri 398-443 °C arasında değişmekte olup ortalama 428 °C olarak hesaplanmıştır. Bu değer olgunlaşmamış organik maddeye işaret eder. Ancak örneklerin tamamının olgunlaşmamış organik madde ile erken-orta olgun organik madde sınırı olan 435 °C'ye çok yakın değerler sunması, organik maddenin diyajenez aşamasının son evresinde olduğunu göstermektedir. Örneklerinin PI değerleri 0,02-0,13 arasında olup ortalama 0,05 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler PI sınıflamasına göre olgunlaşmamış organik maddeye işaret eder. HI- $T_{max}$  diyagramına göre ise örneklerin çoğunun olgunlaşmamış, çok azının ise olgun alanında olduğu gözlenmektedir. Kömür petrografisi çalışmaları sonucunda elde edilen Ro değerleri de % 0,309 - % 0,368 arasında değişmekte olup olgunlaşmamış organik maddeye işaret etmektedir.

#### 4.4.4. Kaynak kaya potansiyeli

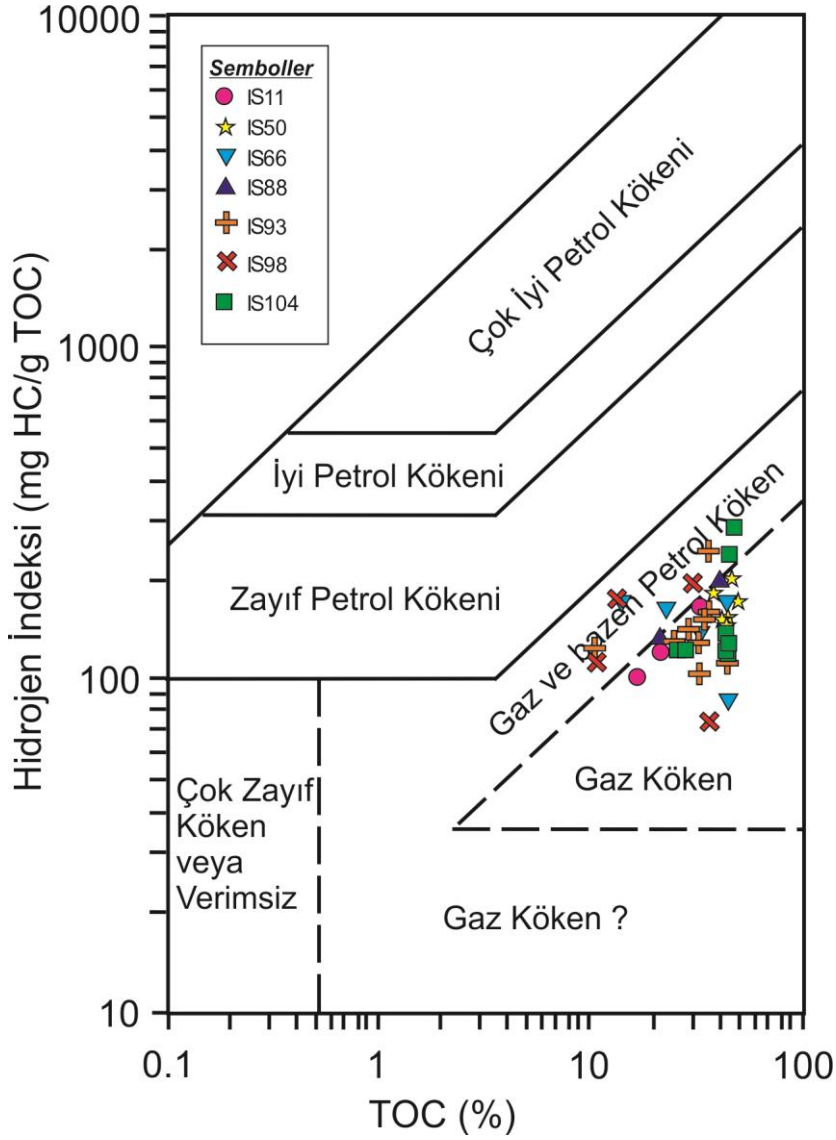
Kaynak kaya potansiyelinin belirlenmesinde, Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen  $S_1$  ve  $S_2$  değerlerinden faydalanılmaktadır.  $S_1+S_2$  toplamı, 1 ton kayada bulunan kg cinsinden hidrokarbon miktarını verir ve potansiyel ürün (PY) olarak ifade edilir. Tissot ve Welte (1984)'ye göre;

$(S_1+S_2) < 2$  kg/ton → bu tür kayalar petrol ana kayası olamazlar, ender olarak doğal gaz kayası olabilirler

$2$  kg/ton  $< (S_1+S_2) < 6$  kg/ton → orta derecede petrol ana kayası olabilirler

$(S_1+S_2) > 6$  kg/ton → iyi derecede petrol ana kayası olabilirler.

Rock-Eval verilerinden elde edilen PY değerleri 12,24-141,39 arasında olup ortalama 53,72 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre çalışma alanına ait birimler iyi derecede kaynak kaya sınıfına dahil edilebilir. Köken zenginliğini belirlemede kullanılan diyagram HI/TOC'dir ve Jackson vd. (1985) tarafından geliştirilmiştir. HI/TOC diyagramına göre değerlendirilen örneklerin çoğunlukla gaz kökenini gösteren alanda olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.14).



**Şekil 4.14.** İnceleme alanına ait HI-TOC diyagramı (Jackson vd. 1985)

Peters ve Cassa (1994) tarafından yapılan sınıflamaya göre örneklerin; olgunlaşmamış, organik madde içeriği yüksek, kaynak kaya potansiyeli açısından mükemmel, Tip III kerojen ve gaz kökenine ait olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

**Çizelge 4.3.** a) Olgunlaşmamış kaynak kayanın türetim potansiyeli, b) kerojen tipi ve ürün kalitesi, c) ısıl olgunlaşma (Peters ve Cassa 1994)

Potansiyel (miktar)	TOC (%)	Rock-Eval (mg/g kaya)		Bitüm (ppm)	Hidrokarbon (ppm)	
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>			
Zayıf	<0,5	<0,5	<2,5	<500	<300	
Orta	0,5-1	0,5-1	2,5-5	500-1000	300-600	
İyi	1-2	1-2	5-10	1000-2000	600-1200	
Çok iyi	2-4	2-4	10-20	2000-4000	1200-2400	
Mükemmel	>4	>4	>20	>4000	>2400	
<b>a)</b>						
Kerojen	HI (mg HC/g TOC)	S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub>	Atomik H/C	Ana Ürün		
I	>600	>15	>1,5	Petrol		
II	300-600	10-15	1,2-1,5	Petrol		
II/III	200-300	5-10	1-1,2	Petrol/gaz		
III	50-200	1-5	0,7-1	Gaz		
IV	<50	<1	<0,7	-		
<b>b)</b>						
Olgunluk	Olgunlaşma			Üretim		
	Ro (%)	T <sub>max</sub> (°C)	TAI	Bitüm/TOC	Bitüm (mg/g kaya)	PI (S <sub>1</sub> /S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> )
Olgunlaşmamış	0,20-0,60	<435	1,5-2,6	< 0,05	<50	<0,10
Erken Olgun	0,60-0,65	435-445	2,6-2,7	0,05-0,10	50-100	0,10-0,15
Olgun	0,65-0,90	445-450	2,6-2,7	0,15-0,25	150-250	0,25-0,40
İleri Olgun	0,90-1,35	445-470	2,9-3,3	-	-	>0,40
Aşırı olgun	>1,35	>470	>3,3	-	-	-
<b>c)</b>						

#### 4.4.5. Organik Fasiyes incelemeleri

Organik fasiyesler, sedimanter bir havzanın kaynak kaya potansiyelinin belirlenmesi ve havzanın jeolojik-tektonik evrimi hakkında değerlendirmeler yapabilmek için önemlidir ve organik unsurların karakterleri baz alınarak diğer alt gruplardan ayrılırlar. Bunlar, sedimentlerin inorganik özellikleri dikkate alınmadan belirli stratigrafik birimin haritalanabilir ölçekteki alt gruplarıdır (Jones ve Demaison 1982).

Jones ve Demaison (1982), atomik H/C oranları, Rock-Eval piroliz verileri ve vitrinit yansıması değerlerinden faydalanarak organik fasiyesleri A, B, BC, C ve D olmak üzere beşe ayırmıştır. Jones (1987) ise H/C oranı, hidrojen indeksi (HI) ile oksijen indeksini (OI) içeren Rock-Eval piroliz verileri ve egemen organik madde türlerine göre; A, AB, B, BC, C, CD ve D organik fasiyesi olmak üzere 7 tip organik fasiyes belirlemiştir (Çizelge 4.4). Bu çalışmada organik fasiyes özellikleri değerlendirilirken Jones (1987) sınıflaması kullanılmıştır.

**Çizelge 4.4.** Organik fasiyeslerin genelleştirilmiş mikroskobik ve kimyasal karakteristikleri (Jones 1987)

Organik Fasiyes	Ro-%0,5 de H/C	Piroliz Verileri		Egemen Organik Madde
		HI	OI	
A	≥1,45	>850	10-30	Algal, amorf
AB	1,35-1,45	650-850	20-50	Amorf, çok az karasal
B	1,15-1,35	400-650	30-80	Amorf, yaygın karasal
BC	0,95-1,15	250-400	40-80	Karışık, bazen okside
C	0,75-1,95	125-250	50-150	Karasal, bazen okside
CD	0,60-0,75	50-125	40-150	Okside, reworked
D	≤ 0,60	50	20-200	Yüksek okside

İnceleme alanına ait örnekler Jones (1987)'ye göre çoğunlukla C organik fasiyesi özelliğindedir (Bkz. Çizelge 4.2). Bunun yanında 7 örneğin CD, 1 örneğin ise BC organik fasiyesinde olduğu saptanmıştır. C fasiyesi değişik tiplerdeki karasal malzemeden oluşmaktadır. Az miktarda taşınmış organik madde de bulundurulabilirler. Hakim organik madde genellikle karasal olup bazen oksidasyona maruz kalmıştır. Bu fasiyesin çökelişi için en uygun ortamlar denizel olmayan ortamlar, özellikle de bataklıklardır. C organik fasiyesi temel olarak kömürlerde yaygındır. CD fasiyesinde ise karasal bitki kalıntıları ve taşınmış-oksitlenmiş organik maddeler ve bilinmeyen kökenlere ait ince taneli organik maddeler hakimdir. CD organik fasiyesinin en yaygın olduğu alanlar derin deniz ortamları ile yüksek dağ dizilerinin önleridir ve çok az miktarda kuru gaz oluşturabilirler. BC organik fasiyesinde egemen organik madde türü karışık ve oksidasyona uğramıştır ve B ile C organik fasiyeslerini karakterize eden kerojen tiplerinden oluşmuştur. Karasal organik madde içeriği B organik fasiyesinden daha fazladır. BC organik fasiyesi hem göl ortamlarında, hem de denizel ortamlarda gelişmektedir. Bu fasiyesin en fazla bulunduğu alanlar delta önleri, prodelta çamurları ve dış şelflerdir. Bazen lagünlerde de çökelimler görülmektedir. BC organik



fasiyesinde, B organik fasiyesine göre aromatik bileşimler daha fazladır. Ayrıca delta önlerinde de çökeldikleri için gaz oluşumu da sağlayabilirler (Altunsoy ve Özçelik 1993).

#### **4.5. Kömürlerin Organik Petrografik Özellikleri**

##### **4.5.1. Maserale analizi**

Kömür petrografisi incelemeleri için 7 adet kuyudan alınan toplam 36 örnek üzerinde maserale analizi ve hüminite yansıma ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekilleri, renkleri ve yansıma özellikleriyle birbirlerinden ayrılan maserallerin ve saptanan minerallerin hacimce yüzde değerleri Çizelge 4.5’de, maserale gruplarının mineral maddesiz bazda hesaplanan hacimce yüzde değerleri ise Çizelge 4.6’da verilmiştir. Kuyu bazında kömür örneklerinin maserale ve mineral bileşenlerinin gösterildiği diyagram Şekil 4.15’de, tüm kömür örneklerinin maserale bileşenlerinin mineral maddesiz bazda üçgen diyagramdaki konumları Şekil 4.16’da sunulmuştur.

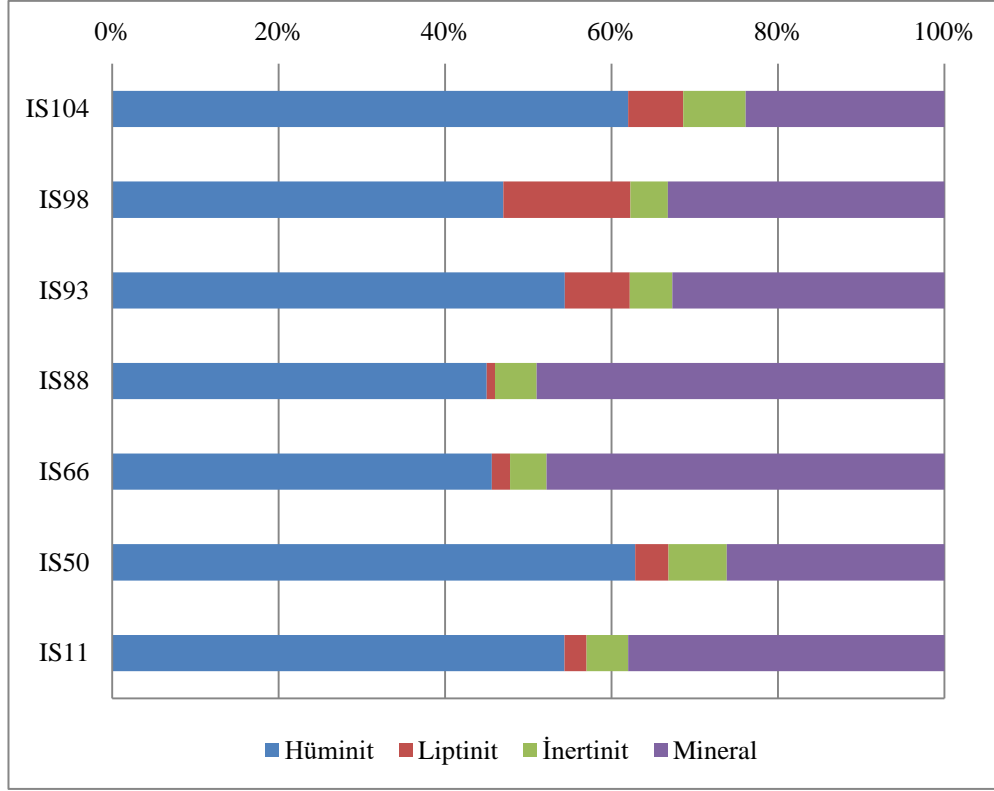
İncelenen örneklerde genel olarak baskın maserale grubu % 38-91 arasında değerler sunan hüminitlerdir. Liptinit grubu % 2-55, inertinit grubu ise % 5-23 oranlarında belirlenmiştir. Genel olarak tüm örneklerinin mineral madde (pirit, fosil kavkısı, kil ve diğer inorganikler) içeriği yüksektir. Mineral madde kömürün hem kül içeriğini hem de sertliğini arttırmaktadır. Bu durum kömür kullanan termik santrallerde değirmenlerin hızlı aşınmasına sebep olmaktadır. Minerallerinin bolluğu turba oluşumu esnasında sellenmeler veya diğer etkilerle ortama mineral girişi ile inorganik maddelerin zaman zaman organik maddenin yerini aldığını göstermektedir. Pirit açısından oldukça yüksek değerler (% 3-8) izlenmektedir. Yüksek pirit değerleri kömürlerin yakıt hammaddesi olarak şehirlerde kullanımını sınırlamaktadır. En yaygın pirit şekli framboidal olup, çatlak ve boşluk dolgusu veya kömürler içerisinde dağılmış halde de gözlenmiştir. Framboidal pirit bolluğu ortamda kükürt bakteri faaliyetlerinin yoğunluğuna işaret etmektedir. Kömürdeki kükürt içeriği, turba asitliği (pH) ve turba sularının sülfat içeriği tarafından etkilenir (Casagrande 1987). Denizle ilişkili olmayan kömürlerindeki yüksek kükürt içeriği çoğunlukla neredeyse nötr veya alkaline şartlar altında ortaya çıkmaktadır (Teichmüller ve Teichmüller 1982). Kömür petrografisi çalışmaları sırasında çekilen bazı önemli maserallerin fotoğrafları Şekil 4.17-29’da verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Kömür örneklerinin organik petrografi sonuçları

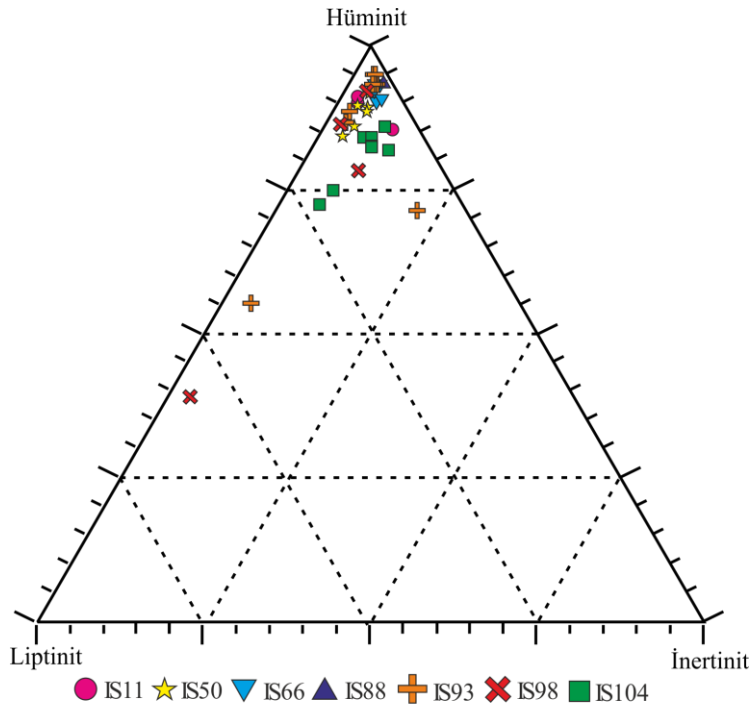
Örnek No	% Hüminit	% Liptinit	% İneritit	% Mineral
IS11-253,50	38	3	5	54
IS11-280,00	63	3	5	29
IS11-281,80	62	2	5	31
IS50-200,60	58	3	11	28
IS50-259,50	68	5	6	21
IS50-262,30	75	5	6	14
IS50-266,50	60	3	4	33
IS50-280,20	57	5	9	29
IS50-283,10	59	3	6	32
IS66-136,00	54	2	6	38
IS66-140,30	52	4	5	39
IS66-143,60	39	2	4	55
IS66-155,40	51	2	4	43
IS66-157,90	32	1	3	64
IS88-160,00	45	1	5	49
IS93-317,80	15	2	5	78
IS93-365,50	63	2	4	31
IS93-367,00	63	3	7	27
IS93-369,90	69	3	8	20
IS93-372,30	62	2	4	32
IS93-374,40	57	3	5	35
IS93-387,00	55	14	5	26
IS93-388,80	44	31	4	21
IS93-391,30	61	10	4	25
IS98-71,70	57	14	4	25
IS98-73,20	64	4	5	27
IS98-75,40	25	36	4	35
IS98-84,45	42	7	5	46
IS104-275,60	59	16	6	19
IS104-277,00	64	7	7	22
IS104-278,40	71	6	10	13
IS104-293,80	29	3	3	65
IS104-346,60	72	5	7	16
IS104-349,90	63	6	15	16
IS104-369,95	69	7	5	19
IS104-371,00	69	3	7	21

**Çizelge 4.6.** Kömür örneklerinin maseral gruplarının mineral maddesiz bazda hacimce yüzde değerleri

Örnek No	% Hüminit	% Liptinit	% İneritit
IS11-253,50	84	7	11
IS11-280,00	89	4	7
IS11-281,80	90	3	7
IS50-200,60	81	4	15
IS50-259,50	86	6	8
IS50-262,30	87	6	7
IS50-266,50	90	4	6
IS50-280,20	80	7	13
IS50-283,10	87	4	9
IS66-136,00	87	3	10
IS66-140,30	85	7	8
IS66-143,60	87	4	9
IS66-155,40	89	4	7
IS66-157,90	89	3	8
IS88-160,00	88	2	10
IS93-317,80	68	9	23
IS93-365,50	91	3	6
IS93-367,00	86	4	10
IS93-369,90	86	4	10
IS93-372,30	91	3	6
IS93-374,40	87	5	8
IS93-387,00	74	19	7
IS93-388,80	56	39	5
IS93-391,30	82	13	5
IS98-71,70	76	19	5
IS98-73,20	88	5	7
IS98-75,40	39	55	6
IS98-84,45	78	13	9
IS104-275,60	73	20	7
IS104-277,00	82	9	9
IS104-278,40	82	7	11
IS104-293,80	82	9	9
IS104-346,60	86	6	8
IS104-349,90	75	7	18
IS104-369,95	85	9	6
IS104-371,00	87	4	9



Şekil 4.15. Kömür örneklerinin kuyu bazında maseral ve mineral bileşenleri

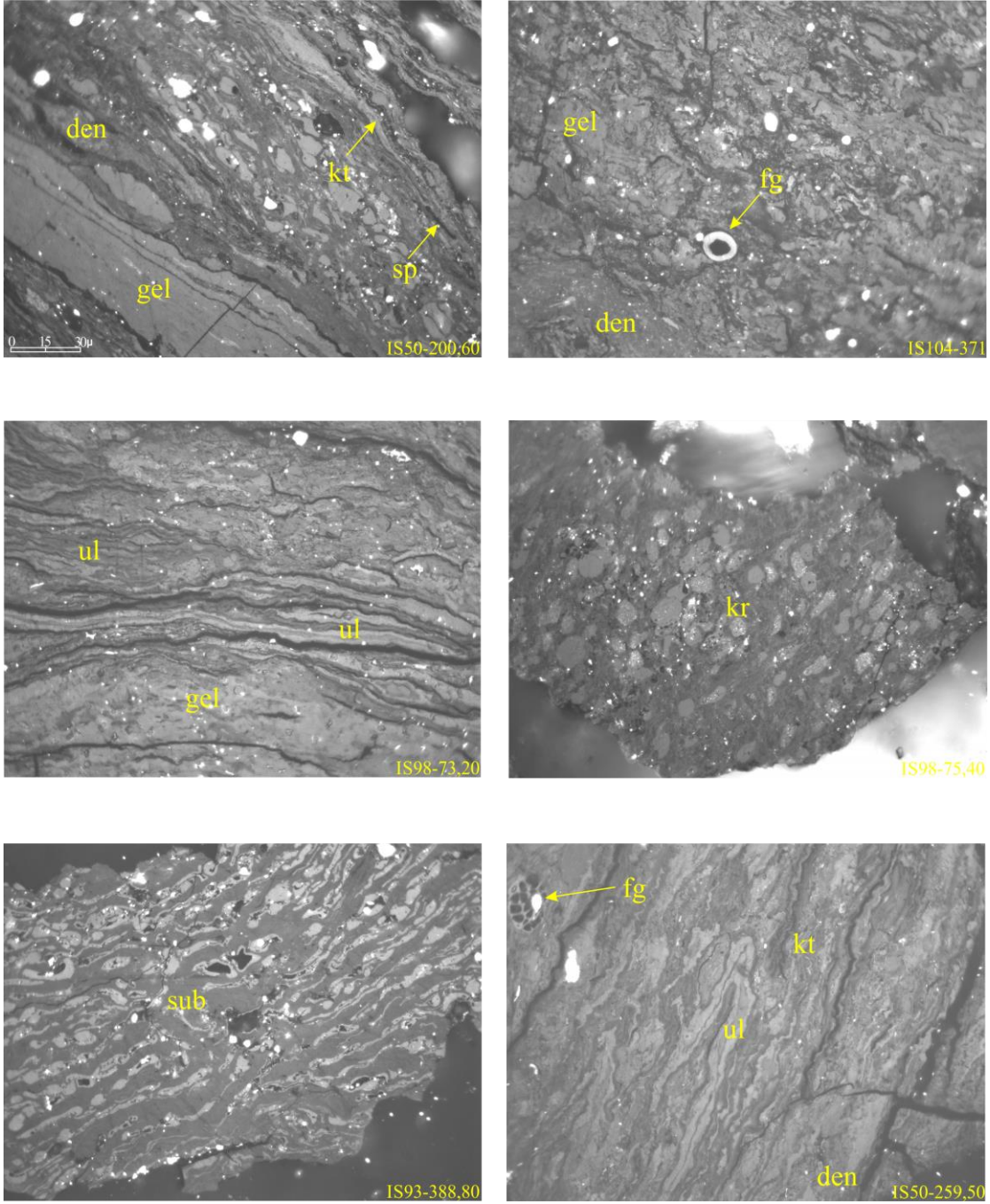


Şekil 4.16. Kömür örneklerinin mineral maddesiz bazda maseral gruplarının üçgen diyagramdaki konumları

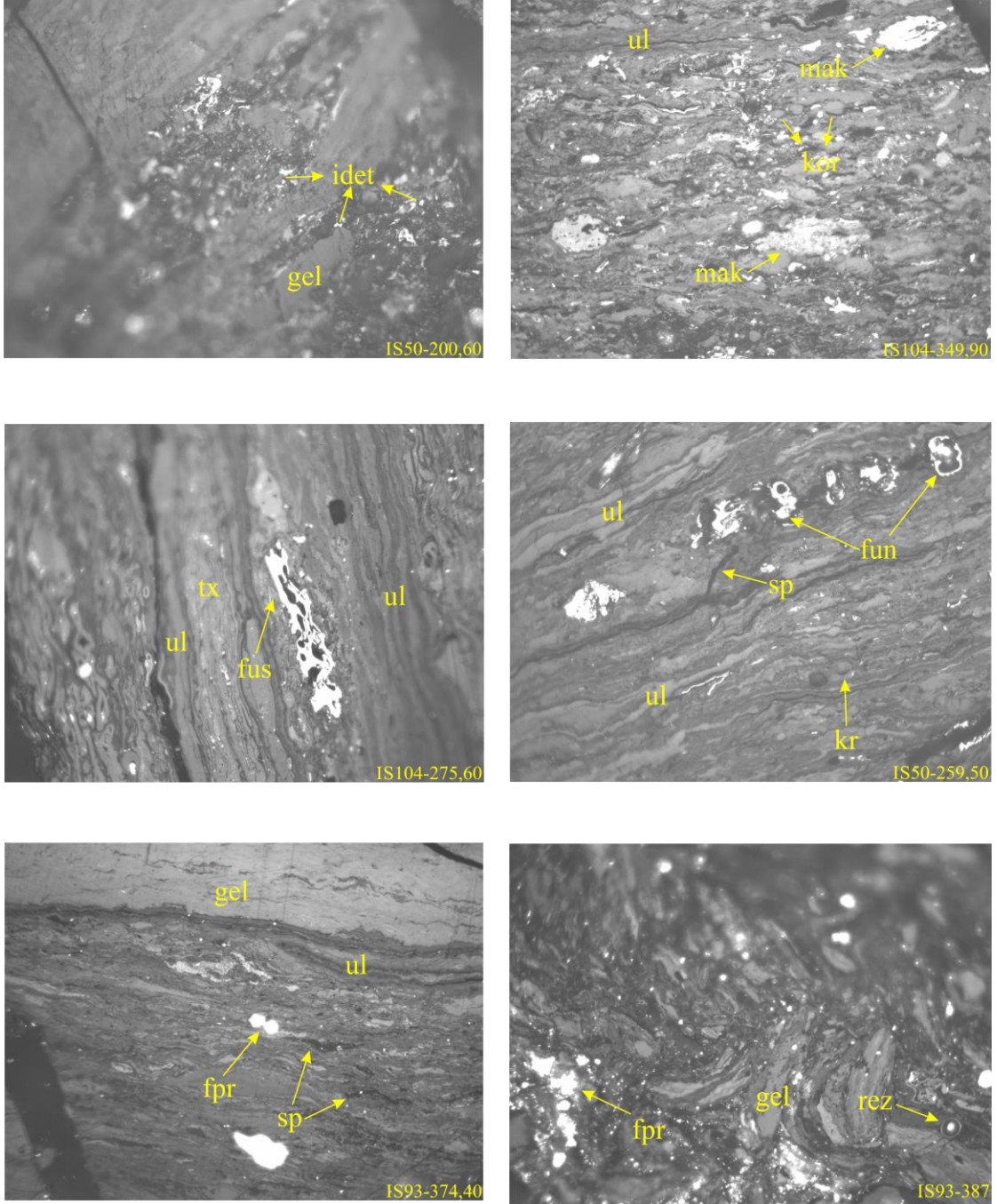
Hüminitler incelenen örneklerin tümünde oldukça yüksek değerler sunarken, havzanın merkezinden kenarlarına doğru bu değerler göreceli olarak azalmaktadır. Hüminit grubunun maseral bileşenlerine ait hacimce yüzde değerleri incelendiğinde en baskın maseralin jelinit olduğu görülmektedir. Jelinitler dışında densinit ve ülminitler de önemli miktarda bulunmakta olup, daha az oranlarda korpohüminit, atrinit ve tekstinite rastlanılmıştır. Hüminitler, alt maseral grupları baz alınarak değerlendirildiğinde jelohüminit alt grubunun en fazla, telohüminit alt grubunun ise en az oranda bulunduğu gözlenmektedir. Jelohüminitlerde jelinit maseralinin, detrohüminitlerde densinit maseralinin, telohüminitlerde ülminit maseralinin baskınlığı söz konusudur.

Jelinit düşük ranklı linyitlerinen yaygın maserali olup, hücreli yapı göstermeyen hümit jellerden oluşur. Genellikle jelinit içeriği fasiyes şartlarına bağlıdır (Sýkorová vd. 2005). Limno-telmatik turba koşullarında, ıslak çayır bataklığı turbalarında ve turbadaki suda kalsiyum iyonunun yüksek olduğu durumlarda yüksek miktarda jelinit maserali oluşmaktadır. Jelinit turbadaki suyun sodyum konsantrasyonunun artmasına sebep olan tuz çökellerinin yakınındaki çamur düzlüklerinden (paleomire) türemiş linyitlerde de yüksek miktarlara ulaşmaktadır (Taylor vd. 1998). Jelinit maseralinin fazla oranda bulunması organik maddenin dokusunun bozulduğuna ve oluşumu sırasında pH değerlerinin nötre yaklaştığına işaret eder (Flores 2002, Stach vd. 1982). Jelinit, kömürlerin biriketlenmesini olumsuz yönde etkilemekte ve koklaşma sırasında sertleşerek kok dayanıklılığında ciddi bir azalmaya neden olmaktadır. Jelohüminitlerin bir diğer maserali olan korpohüminitler hemen hemen tüm örneklerde görünmesine rağmen, miktarları oldukça düşüktür. Korpohüminitler özellikle mantar ve ağaç dokularında hücre içi dolgusu olarak bol miktarda bulunurlar (Soo's 1964). İkincil kolloidal hücre salgılarından da oluşabilirler.

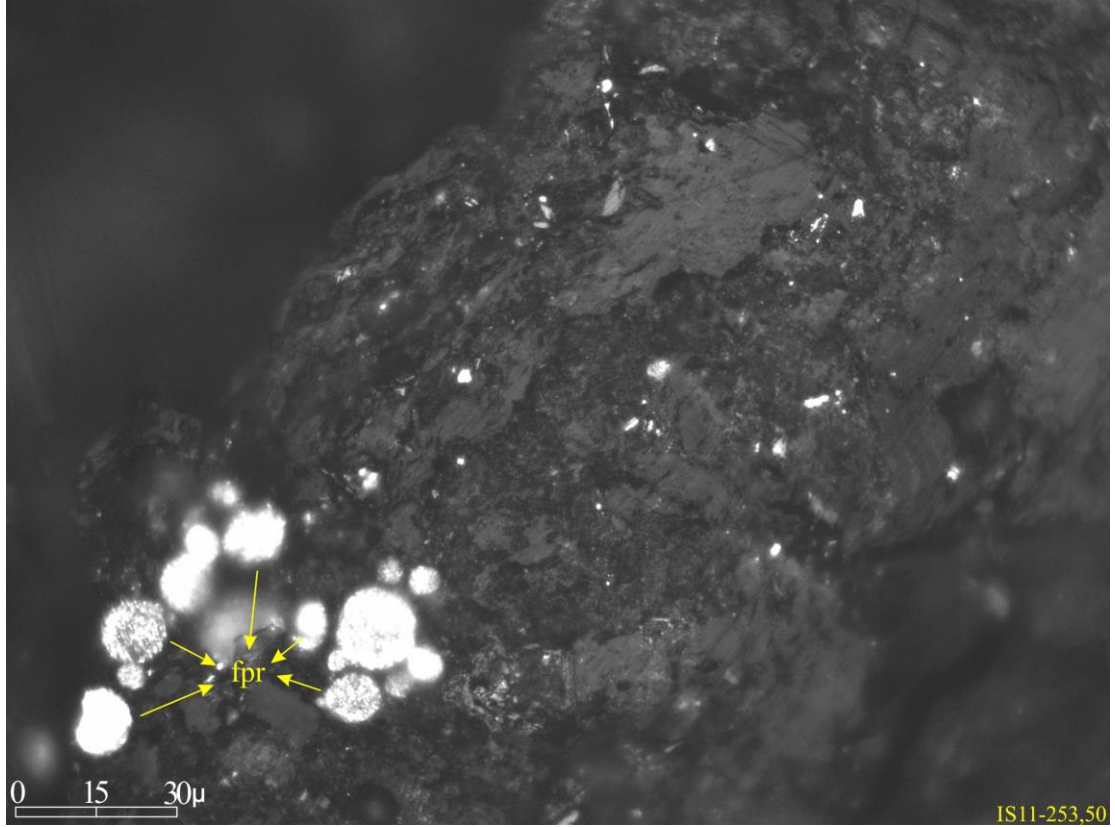
Hüminit grubunun ikinci baskın alt maseral grubu olan ve kırıntı şeklindeki hüminit maserallerini temsil eden detrohüminitlere ait densinit maserali, mineral madde içeriği çok yüksek olan bir örnek dışındaki tüm örneklerde belirlenmiştir. Detrohüminitlerin bir diğer maserali olan atrinit az sayıda örnekte belirlenmiş ve oldukça düşük değerler sunmuştur. Densinit amorf hümit madde ile çimentolanan değişik şekilli ince hüminit parçalarından meydana gelir. Kömürleşme sırasında atrinitlerin jelleşmesi veya turba aşamasında selüloz ve lignin'den oluşan gövde ve yaprakların parankim ve odunsu dokularının büyük ölçüde bozunması ve biyokimyasal jelleşmesi ile oluşur. Düşük ranklı Tersiyer kömürlerinde bol miktarda bulunur. Linyitlerde, diğer maseraller arasında hamur şeklinde gözlenir. Densinit zayıf briketleme özelliklerine sahiptir, çünkü elastik değildir ve briketleme sırasında diğer kömür taneleri ile etkileşime girmez. Öte yandan kolay öğütülebilmektedir (Sýkorová vd. 2005). Kömürlerde detrohümit maserallerinin bol miktarda bulunması turba oluşumunda genellikle otsu bitkilerin varlığına işaret etmektedir. Bunun yanı sıra su seviyesinin yüksek olduğu bataklıklarda yüksek enerji, organik maddenin kırılıp parçalanmasına ve böylece maseral bileşiminin detrohüminitlerce zengin olmasına sebep olmaktadır (Petersen ve Nielsen 1995). Densinit gibi kırıntılı maserallere sahip kömürler, oluşum tipi çökelme ortamı içinde taşınmış kömürler (hipootokton) olarak yorumlanmaktadır (Stach vd. 1982).



**Şekil 4.17.** Kömür örneklerinin üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüleri (ul-Ülminit; den-Densinit; gel-Gelinit; kr-Korpohuminit; sp-Sporinit; kt-Kütinit; fg-Funginit; sub-Suberinit)



**Şekil 4.18.** Kömür örneklerinin üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüleri (gel-Gelinit; idet-İnertodetrinit; ul-Ülminit; kr-Korpohuminit; mk-Makrinit; tx-Tekstinit; fus-Füzinit; sp-Sporinit; sp-Sporinit; rz-Rezinit; fpr-Fromboidal pirit)



**Şekil 4.19.** Fromboidal pirit oluşumlarının üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüsü

Hücre dokusu gösteren hüminitlerden meydana gelen telohüminit alt grubunun baskın maserali az ya da çok jelleşmiş hücre duvarlarından oluşan ülminit olup tüm örneklerde belirlenmiş ve büyük çoğunluğunda yüksek değerler sunmuştur. Ülminit, otsu ve ağaçsı bitkilerin selüloz ve ligninden oluşan kök, gövde, kabuk ve yaprakların parenkimatik ve odunsu dokularından meydana gelir. Su altı ortamlarında biyokimyasal jelleşme işlemi spesifik iyonların (Na, Ca gibi) temini ile hızlandırılır (Taylor vd. 1998). Ülminit maserali kömürün rankına bağlı olarak görsel çökeller içerisinde de yaygındır. Ülminit zenginleşmesi hem paleoortamsal koşulları hem de ileri kömürleşme düzeyini yansıtmaktadır. Islak orman bataklıklarında oluşan linyitler, kurak koşullarda yüksek oranda bozunmaya maruz kalan linyitlerden daha fazla miktarda ülminit içerirler. Yüksek ülminit içeriği, briketlenme sırasında kömür tanelerinin birbirlerine bağlanmasını engeller. Bu neden ülminitce zengin kömürler briket üretimine için uygun değildir (Sýkorová vd. 2005). Selüloz ve lignin kökenli jelleşmemiş hücre duvarlarından meydana gelen tekstinit maserali ise az sayıda örnekte, düşük miktarlarda bulunmaktadır.

İncelenen örneklerde izlenen liptinit grubu maseralleri suberin, kütinit, sporinit ve rezinittir. Bu gruptaki en yaygın maseral ağaç gövde kabuklarından kaynaklanan suberin olup, havza ortasından alınan örneklerde belirlenememiş, havza kenarlarından alınan örneklerde ise % 34'lere varan değerler sunmuştur. Suberinit Paleojen, Neojen ve bazı Mesozoik ve Paleozoyik kömürlerinde bulunur. Fasiyes değişim bölgelerinde küçük miktarlarda yaygın olarak izlenir. Suberin, özellikle orman bataklıklarında oluşan kömürlerde yaygın olmakla birlikte diğer ortam kömürleri de yüksek miktarlarda



suberinit içerebilir (Khorasani 1987). Suberinitteki zenginleşme muhtemelen suberinleşmiş dokunun nispeten dirençli olması ve dolayısıyla seçici koruma ile konsantrasyonun olabilmemesinden kaynaklanmaktadır (Cabrera vd. 1995). Suberinitin bolluğu, mumlu/yağlı kimyasal bileşiminden dolayı sıvı hidrokarbon üretiminde yüksek bir potansiyele sahip olduğu için önemlidir (Tyson 1995). Diğer liptinit maseralleriyle karşılaştırıldığında, bu üretim olgunlaşma sırasında nispeten erken başlar (Khorasani ve Murchison 1988).

Kütinit, neredeyse tüm kömürlerde bulunur ancak nadiren bol miktarda gözlenir (Pickel vd. 2017). İnceleme alanındaki kömür örneklerinin de çoğunda izlenmekle birlikte miktarları % 3'ü aşmamaktadır. Kütinitler bitki yaprak ve gövdelerin kütiküllerinden (dış zar) kaynaklanırlar. Kütinit analizi, spor analizi ile birlikte kömür katmanlarının korelasyonuna yardımcı olabilir (Stach vd. 1982). Ayrıca, fasiyes analizi ve stratigrafik değerlendirilmelerde, paleobataklık ortamının modellenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Kütinit varlığı depolanma ortamındaki su seviyesinin yüksek olduğunu ve turba oluşumunun limnik ortamda su altı koşullarında gerçekleştiğini gösterir.

Spor ve polenlerin kömürleşmiş kalıntılarından oluşan sporinit maserali Paleojen ve Neojen linyitlerinde özellikle parlak bantlarda yüksek oranda olabilir ancak hemen hemen daima düşük değerler sunmaktadır. Çalışma bölgesinde de bir örnek dışındaki tüm örneklerde belirlenmiş olup miktarları %2'yi aşmamaktadır. Polen ve sporlar özellikle stratigrafi çalışmaları ve katman korelasyonu için uygundur. Fasiyes göstergeleri olarak da oldukça önemlidirler. Dağınık sporinitlerin hidrokarbon verimi oksidasyona bağlı olarak oldukça düşük olabilir (ICCP 1963). Sporinit maserali, genellikle liptinit maseral grubunun diğer maseralleriyle aynı teknolojik özelliklere sahiptir (Pickel vd. 2017). Sporinit varlığı saz bataklıklarında, sualtı koşullarını düşündürmektedir.

İncelenen örneklerde liptinit grubunda en az miktarda bulunan maseral rezinit olmuştur. Sadece havzanın doğusundan alınan dört örnekte % 2'yi geçmeyen değerlerde saptanmıştır. Rezinite reçine ve mumdan kaynaklanır (Taylor vd. 1998). Çoğunlukla hücre boşluklarını doldurmaktadır. Rezinitin, diyajenezin nispeten erken evrelerinde sıvı hidrokarbon üretimine önemli katkıda bulunduğu düşünülmektedir (Powell vd. 1978). Rezinit varlığı orman bataklığına işaret etmektedir (Flores 2002).

İnertinit grubu maserallerinden inertodetrinit, makrinit, füzinit ve funginit hemen hemen her seviyede ancak düşük miktarlarda belirlenmiştir. İnertinitlerin varlığı turba oluşumu esnasında bitkisel malzemenin zaman zaman oksidasyon koşullarına maruz kaldığını göstermektedir. Dolayısıyla havzadaki inertinit miktarının doğuya doğru artması, su seviyesindeki değişime işaret etmektedir. Çalışma alanındaki örneklerde en çok izlenen inertinit grubu maserali inertodetrinittir. İnertodetrinitler mikroskopta tanınamayan inertinit parçalarından oluşmuştur. Genel olarak inertodetrinitlerin teknik özellikleri türedikleri maserale ilişkilidir (ICCP 2001). Makrinit maserali hücre yapısı olmayan, nispeten büyük ve kompakt inertinit oluşumlarıdır. Makrinitlerin gözlenme sıklığı inertodetrinitlere göre az olmakla saptandıkları örneklerde miktarları daha fazladır. Tipik hücre yapısıyla kolaylıkla ayrımı yapılabilen füzinit maserali ligno-selülozik hücre duvarlarından kaynaklanmaktadır (ICCP 2001). Varma (1996)'ya ve Taylor vd. (1998)'ne göre füzinit

mantar ve bakterilerin yardımıyla bitki dokularının dekarboksilasyonu veya dehidrasyon ve bozunma sonucu oluşabilir. Füzinit, su ya da hava yoluyla havzaya (Stach vd. 1982) taşınabilir ya da yanmış organik maddeden kaynaklanabilir (Goodarzi 1985). Tektonik faaliyetler de füzinit artışına sebep olmuş olabilir (Goodarzi 1986). İnertinit grubunda en düşük miktarda saptanan maseral funginitlerdir. Funginitler mantar sporları ve diğer mantar parçalarından (sclerotia, hyphae, mycelia gibi) oluşmuşlardır. Düşük miktarları nedeniyle kömürün teknolojik özelliklerini etkilememekle birlikte mantar sporları ve diğer parçaları kömür katmanlarının korelasyonunda ve paleoortam yorumlamalarında kullanılabilir (Moore vd. 1996). Funginitler killi ortamlarda daha bol bulunurlar (Toprak 2009) ve zaman zaman aerobik koşulların varlığına işaret ederler (Wüst vd. 2001).

#### 4.5.2. Petrografik indekslerin ortamsal yorumlarda kullanımı

Organik madde topluluklarının özellikleri, organik maddenin çökelim ortamının özelliklerine göre farklılıklar gösterir. Kendine has fiziksel ve kimyasal şartlara sahip olan bataklık ortamları (delta, lagün, göl ve akarsu taşkın ovaları) kömürü meydana getiren organik ve inorganik bileşenleri belirler. Maserale bileşenlerinin türleri ve oranları organik maddenin tipi ve oluşum süreci koşullarına yönelik bilgiler vermektedir. Bu bileşenler; pH, su tablası yüksekliği, aerobik ve anerobik bakteri tarafından bozunma ve organik maddenin sedimantasyon ortamına taşınması ile ilgili olarak gelişen mekanik bozunmalar tarafından etkilenirler (Bozcu vd. 2008).

Kömür petrografisi çalışmaları sonucunda elde edilen veriler, kömür oluşumunun gerçekleştiği ortam koşullarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Değişik araştırmacılar ortam yorumlarında kullanmak üzere değişik indisler geliştirmişler ve bu doğrultuda petrografik bileşenleri kullanmışlardır (Diessel 1986, 1992; Kalkreuth vd. 1991; Petersen 1993; Mavridou vd. 2003). Su seviyesi, oksidasyon, pH, jelleşme durumu, organik maddenin kaynağı, turbanın bio-kütlesi, bitki girdisi ve çökelim ortamı gibi bilgilere ışık tutması için kullanılan bu indisler;

- Jelleşme indeksi (GI: Gelification Index ),
- Doku Koruma İndeksi (TPI: Tissue Preservation Index),
- Vejetasyon İndeksi (VI: Vegetation Index),
- Yeraltı Suyu Etkisi İndeksi (GWI: Ground Water Influence Index)'dir.

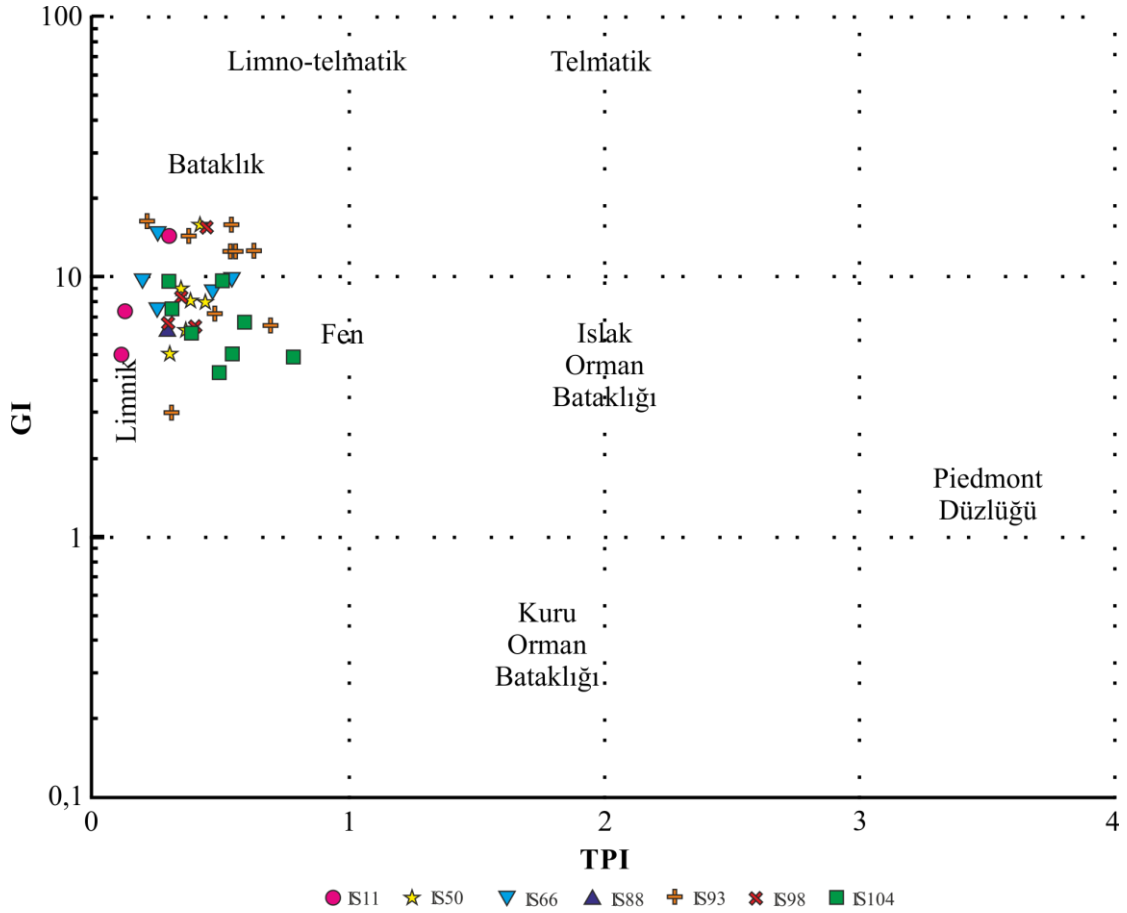
Bu parametrelere bağlı olarak çeşitli diyagramlar geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanıma sahip olanı (Diessel 1986) tarafından geliştirilen TPI-GI diyagramıdır. Araştırmacı, Avusturya'daki Permiyen yaşlı kömürler üzerinde gerçekleştirdiği petrografik analiz sonuçlarından elde ettiği verileri kullanarak TPI ve GI indekslerini tanımlayarak formülize etmiştir. Kömür bileşenlerinin doku göstermesi ve bu dokuların korunması temeline dayanan TPI hümfikasyon derecesini ve korunan dokuların korunmamış dokulara oranını ifade eder. Jelleşmiş ve jelleşmemiş maserallerin görece oranına dayanan GI ise turba birikimi ve su tablası değişimlerini belirtmektedir. Diessel'in oturduğu formülleri, Mavridou vd. (2003) Tersiyer kömürlerine göre uyarlamıştır. Bu çalışmada TPI ve GI hesaplamalarında Mavridou vd. (2003) tarafından modifiye edilen ve aşağıda verilen formüller kullanılmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bu değerlerin yorumlanmasında ise Diessel 1986 tarafından geliştirilen diyagram kullanılmıştır (Şekil 4.20).

**Çizelge 4.7.** Fasiyes indislerine ait değerler

Örnek No	GI	TPI	GWI	VI
IS11-253,50	5,14	0,11	20,75	0,14
IS11-280,00	7,50	0,16	7,70	0,29
IS11-281,80	12,40	0,30	6,42	0,50
IS50-200,60	5,27	0,30	7,20	0,42
IS50-259,50	8,25	0,45	3,25	0,84
IS50-262,30	9,13	0,35	3,42	0,61
IS50-266,50	15,00	0,42	4,06	1,06
IS50-280,20	6,33	0,36	5,31	0,78
IS50-283,10	8,29	0,38	4,44	0,67
IS66-136,00	9,00	0,47	4,18	1,21
IS66-140,30	10,40	0,54	4,12	0,90
IS66-143,60	9,75	0,20	16,80	0,29
IS66-155,40	12,75	0,26	8,00	0,50
IS66-157,90	7,75	0,26	17,20	0,35
IS88-160,00	6,14	0,29	7,90	0,40
IS93-317,80	3,00	0,31	20,25	1,00
IS93-365,50	15,75	0,22	7,90	0,41
IS93-367,00	7,75	0,49	3,53	0,84
IS93-369,90	6,70	0,72	2,00	1,48
IS93-372,30	12,20	0,37	5,00	0,75
IS93-374,40	11,40	0,65	3,19	1,35
IS93-387,00	11,00	0,58	3,53	1,67
IS93-388,80	11,00	0,55	5,89	2,11
IS93-391,30	15,25	0,56	3,50	1,35
IS98-71,70	14,25	0,43	4,20	1,40
IS98-73,20	8,86	0,34	4,12	0,67
IS98-75,40	6,25	0,40	26,00	4,11
IS98-84,45	6,83	0,29	12,83	0,92
IS104-275,60	4,91	0,79	2,52	1,68
IS104-277,00	6,10	0,39	3,88	0,81
IS104-278,40	5,23	0,54	2,38	0,93
IS104-293,80	9,67	0,29	17,20	1,00
IS104-346,60	6,90	0,60	2,11	1,17
IS104-349,90	4,20	0,51	3,17	0,74
IS104-369,95	9,57	0,52	3,20	0,89
IS104-371,00	7,44	0,31	4,38	0,50

$$GI = (\text{Ülminit} + \text{Jelinit} + \text{Korpohüminit} + \text{Densinit}) / (\text{Tekstinit} + \text{Atrinit} + \text{İnertinit})$$

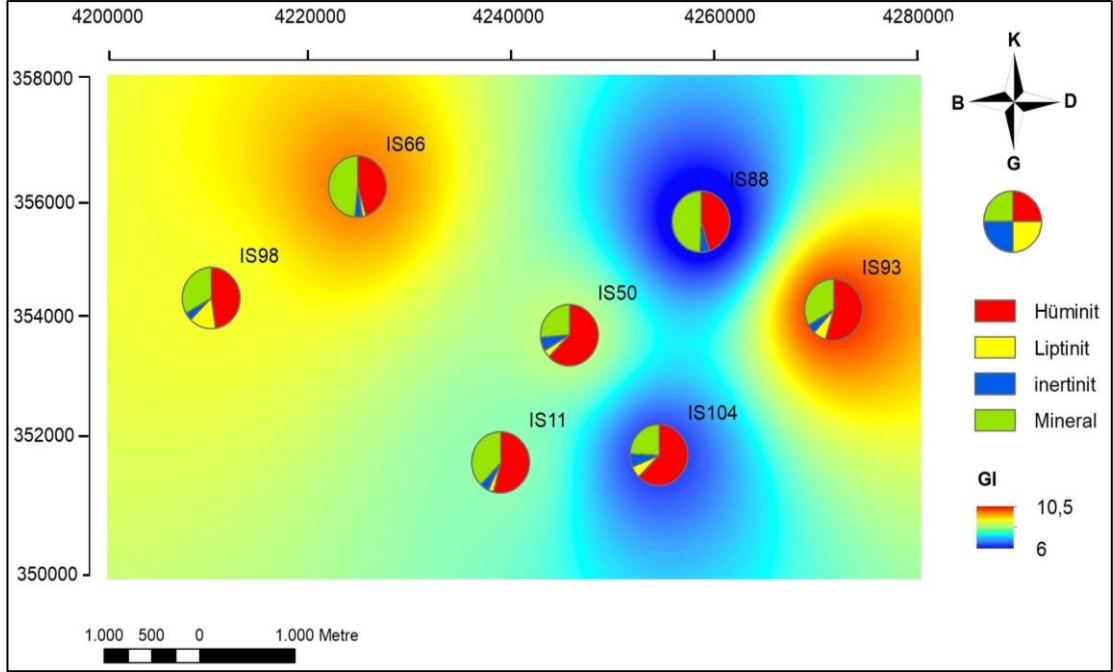
$$TPI = (\text{Tekstinit} + \text{Ülminit} + \text{Korpohüminit} + \text{Füzinit}) / (\text{Atrinit} + \text{Densinit} + \text{Jelinit} + \text{İnertodetrinit})$$



Şekil 4.20. Kömür örneklerinin GI-TPI diyagramındaki konumu (Diessel 1986)

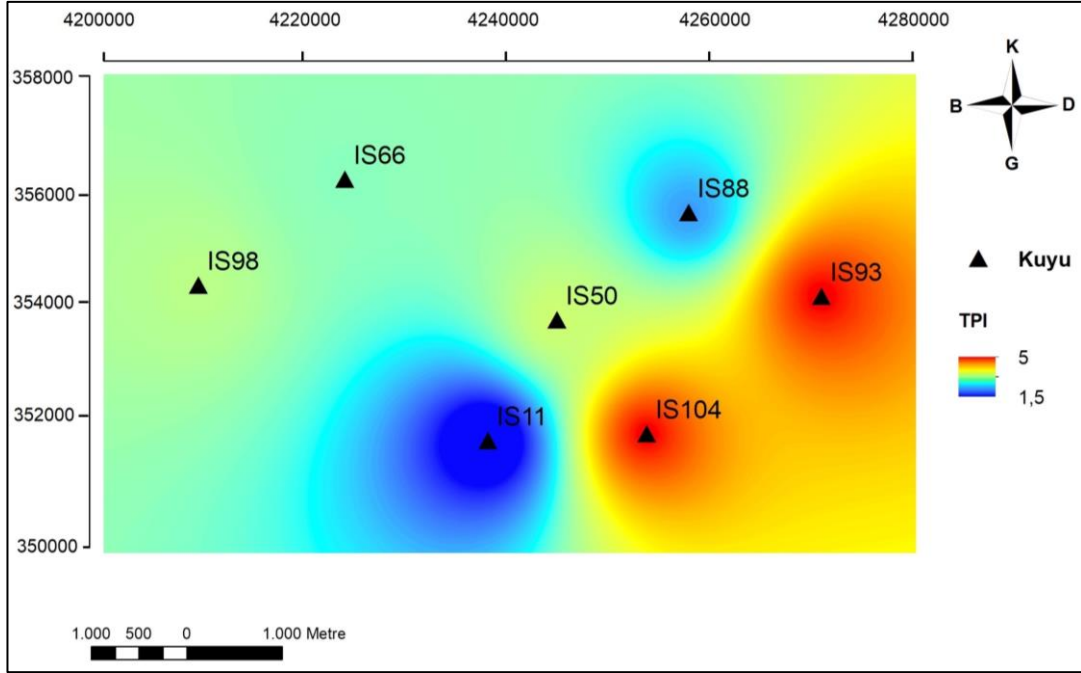
GI-TPI diyagramında da görüldüğü gibi kömürler çoğunlukla limnik-limnotelmatik bataklık zonlarında yer alırlar. Şarkikaraağaç kömürlerinin GI değerleri 3-15,75 arasında değişmektedir. Bu değerler havzadaki kömürlerin su altı ortamında, oksitlenmeye maruz kalmadan oluştuklarını göstermektedir. Yüksek kalsiyum oranı havzadaki kömürlerde olduğu gibi alkalın çökelim ortamlarını gösterir ve bakteriler hümik jellerin oluşumuna neden olabilir. Maseral analizinde bol miktarda rastlanan fromboidal kükürt varlığı da alkalın koşullara işaret etmektedir. Yine maseral analizi sonucunda belirlenen jelinit bolluğu da limnotelmatik koşullar ve ıslak çayır bataklığında suyun kalsiyum iyonunca zengin olduğu durumu göstermektedir. Farklı seviyelerde gözlemlenen GI değerlerindeki değişim, su seviyesinin zaman zaman artıp, zaman zaman azaldığını göstermektedir.

Şekil 4.21’de ise GI değerlerinin havza içindeki değişimi ve kuyularda belirlenen maseral ve mineral madde yüzdeleri görülmektedir. Bu dağılıma göre havzanın kenar kesimlerinde, orta kesimlere nazaran daha yüksek seviyede jelleşme gerçekleşmiştir. Ortam, limnikten, limno-telmatığe geçiş göstermiştir.



**Şekil 4.21.** GI değerlerinin bölgesel yoğunluk haritası

0,11-0,65 arasında değerler sunan TPI değerleri farklı seviyelerde belirgin değişim göstermemektedir. TPI değerleri doku korunumunun ve turbayı oluşturan bitki türleri arasındaki oranın belirteçidir. Düşük TPI, ortamda otsu bitkilerin hakim olduğunu, yüksek bitkileri ortama taşınmasındaki azalmayı, hümikikasyon nedeniyle bitki dokularının korunamamasını veya düşük çökme oranını gösterebilmektedir. Jelinit maseralinin fazlalığı da organik maddenin dokusunun bozulduğuna işaret etmekte ve inceleme alanındaki maseral analizi sonuçları bu durumu desteklemektedir. GI gibi, TPI dğerleri de havza ortasına doğru düşüş göstermektedir (Şekil 4.22).



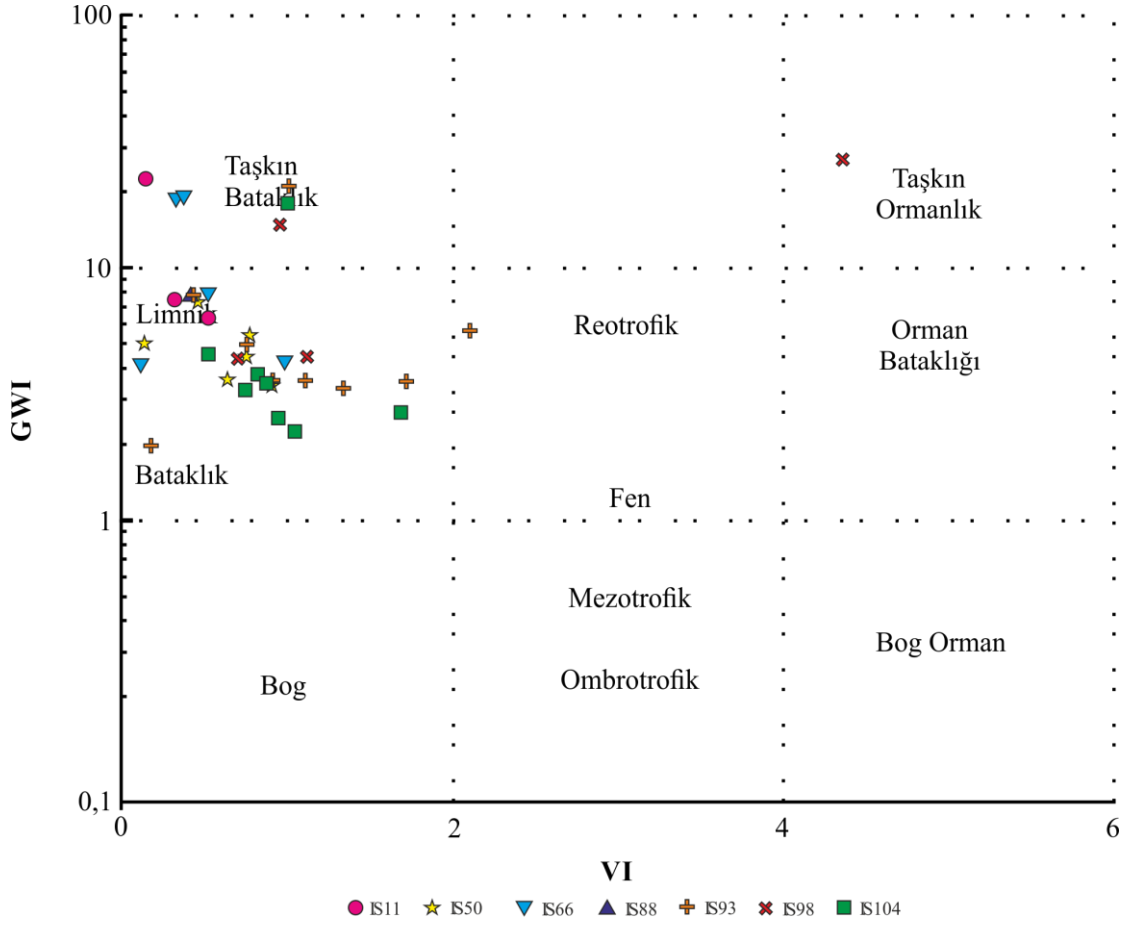
Şekil 4.22. TPI değerlerinin bölgesel yoğunluk haritası

Calder vd. 1991 ortamın yeraltı su seviyesi, turbayı oluşturan bitki türleri, maserallerin su tablasına bağlı olarak korunması ve havzaya mineral madde taşınımı hakkında yaklaşımlar yapabilmek için Pensilvanian yaşlı Kanada kömürlerini baz alarak GWI ve VI parametrelerini geliştirmişlerdir. GWI ortamdaki yeraltı suyunun etkisini, VI ise odunsu bitkilerin, su kenarındaki otsu bitkilere oranını ifade eder. Bu çalışmada GWI ve VI hesaplamalarında Mavridou vd. (2003) tarafından modifiye edilen ve aşağıda verilen formüller kullanılmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.6’da verilmiştir. Bu değerlerin yorumlanmasında ise Calder vd. 1991 tarafından geliştirilen diyagram kullanılmıştır (Şekil 4.23).

$$GWI = \frac{\text{Korpohüminit} + \text{Jelinit} + \text{Densinit} + \text{Mineral madde}}{\text{Tekstinit} + \text{Ülminit} + \text{Atrinit}}$$

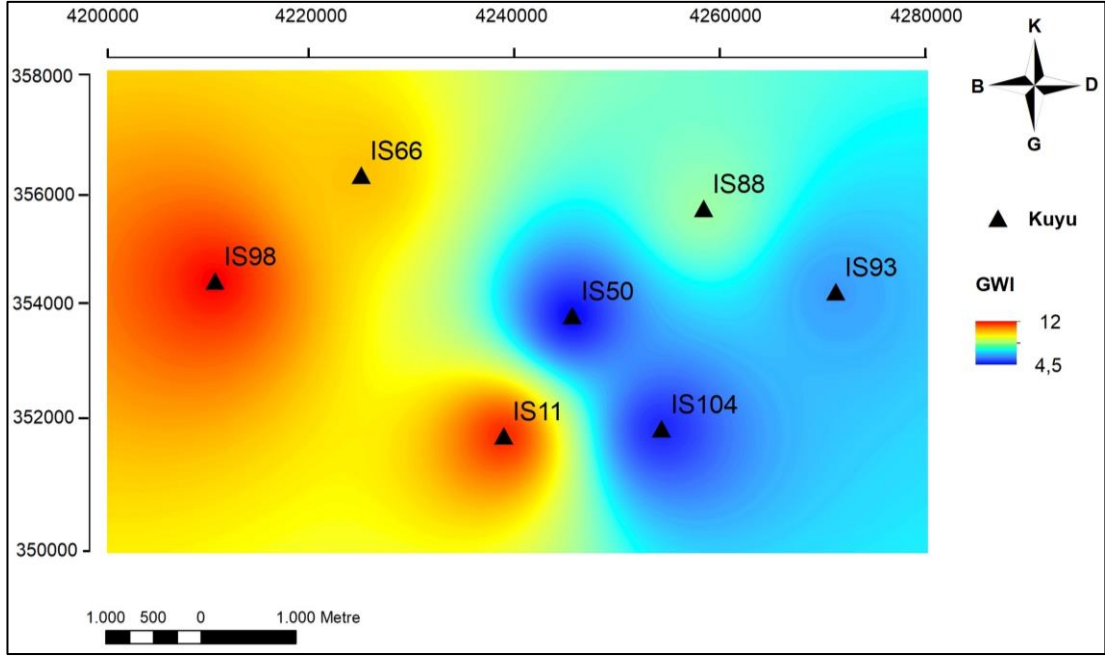
$$VI = \frac{\text{Tekstinit} + \text{Ülminit} + \text{Rezinit} + \text{Suberinit} + \text{Füzinit} + \text{Semifüzinit}}{\text{Densinit} + \text{Atrinit} + \text{Kütinit} + \text{Sporinit} + \text{Alginit} + \text{Bitüminit} + \text{Liptodetrinit}}$$

GWI-VI diyagramında da görüldüğü gibi kömürler çoğunlukla limnik ortamda sellenmiş bataklık ve bataklık zonlarında yer alırlar. Şarkikaraağaç kömürlerinin GWI değerleri 2-26 arasında değişmektedir ancak çoğunlukla 10’un altında seyretmektedir. VI değerleri ise 0,14-4,11 arasında değişmekte olup, çoğu örnekte 1’in altında değerler sunar. GWI ve VI değerleri kömür seviyeleri arasında farklılıklar göstermektedir. VI değerlerinin yükseldiği seviyelerde organik madde göreceli olarak artmış, GWI değerlerinin yükseldiği seviyelerde de inorganik madde göreceli olarak azalmıştır.

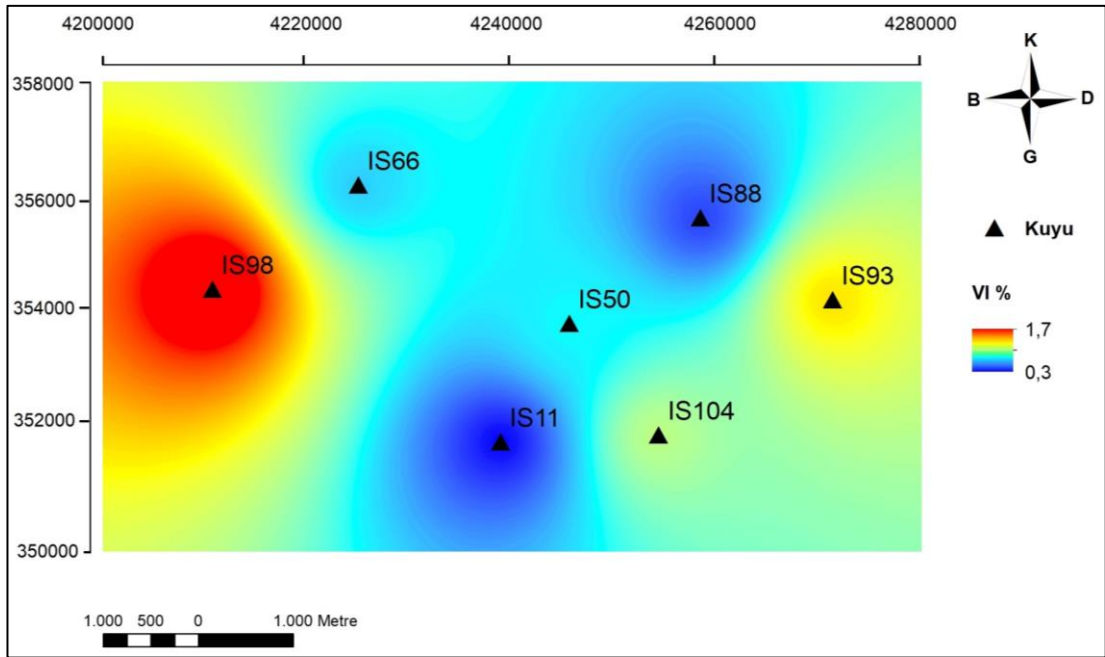


**Şekil 4.23.** Kömür örneklerinin GWI-VI diyagramındaki konumu (Calder vd. 1991)

Şekil 4.24’de GWI değerlerinin, Şekil 4.25’de ise VI değerlerinin havza içindeki yoğunluk değişimi incelenmiştir. GWI değerlerinde havzanın güneybatısında belirgin yükselme görülmektedir. VI değerleri ise havza ortasında düşüş göstermiştir. Bu durum havza kenarlarında organik madde kaynağının bol olmasının yanında, ortama mineral madde girişinin de yoğun düzeyde olduğunu belirtmektedir. TOC değerlerinin havzanın GB’sında düşük olmasının sebebinin yoğun mineral madde girişi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.24. GWI değerlerinin bölgesel yoğunluk haritası



Şekil 4.25. VI değerlerinin bölgesel yoğunluk haritası

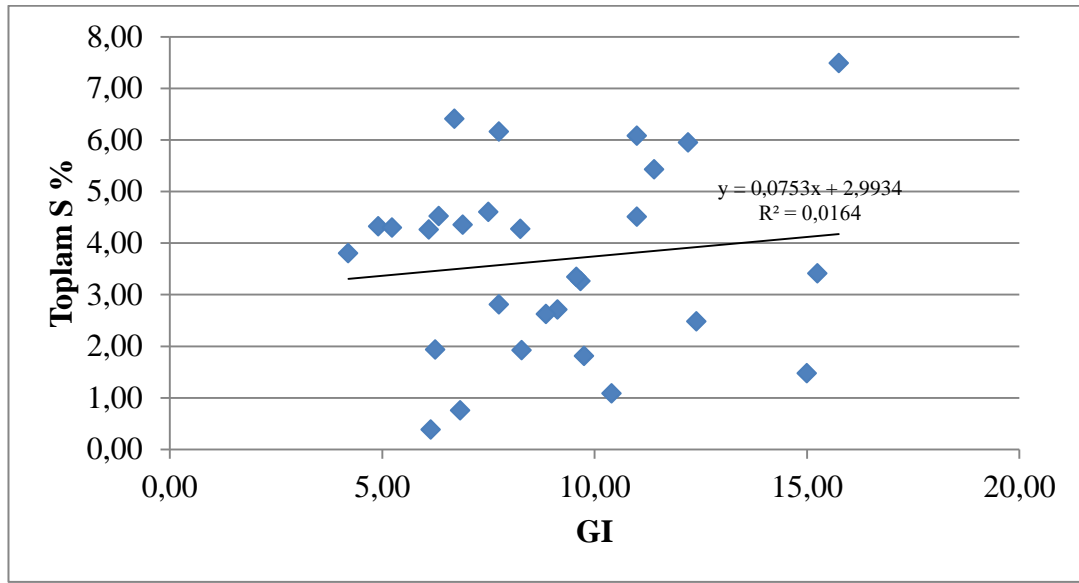
Ortam yorumunda kullanılan bir diğer parametre kükürttür. Kükürt içeriğinin yüksek olması nötrden alkali ortama geçişe işaret eder ve bakteriler için alkali ortam oldukça elverişlidir. Turbalarda Fe-sülfid genellikle bakteriyel faaliyet ile oluşur. Daha önce de değinildiği gibi maseral analizinde yaygın olarak görülen fromboidal pirit alkali koşulları yansıtır. Dolayısıyla ortamın pH düzeyi hem sülfat indirgenmesini, hem de bitkilerin bakteriyel bozunmasını kontrol etmektedir (Bozcu vd. 2008). Bu nedenle kömürlerin sülfür içeriği ile GI arasında pozitif korelasyon beklenir (Dehmer 1989).



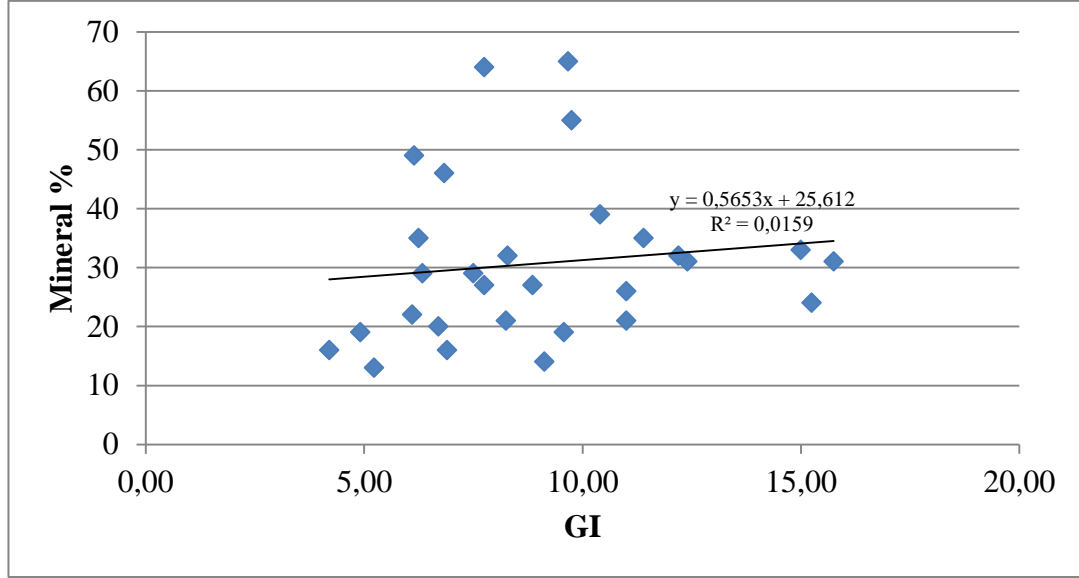
Şekil 4.26’da görüldüğü gibi çalışma alanına ait örneklerin toplam kükürt değerleri ile jelleşme dereceleri arasında pozitif bir korelasyon vardır.

GI ile mineral madde arasında da ortamsal açıdan bir ilişki vardır. Ortama gelen su miktarının artması ile mineral madde getirimi de artmakta, dolayısıyla jelleşme indeksi de artmaktadır. Şekil 4.27’de GI ve mineral madde arasındaki pozitif korelasyon görülmektedir.

Fasiyes indislerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen jelleşme indeksi, doku koruma indeksi, vejetasyon indeksi ve yeraltı suyu etkisi indeksi ile havza kömürlerinin yüksek pirit içeriği ve kömürlü seviyelerde sıklıkla izlenen gastropod kavkaları bir arada değerlendirildiğinde, havza kömürünün çökelim ortamının limnik-limnotelmatic bataklık ortamı olduğu sonucuna varılmaktadır.



Şekil 4.26. Toplam kükürt değerlerinin GI ile ilişkisi



Şekil 4.27. Mineral madde ile GI arasındaki ilişkisi

#### 4.5.3. Yansımaya ölçümleri

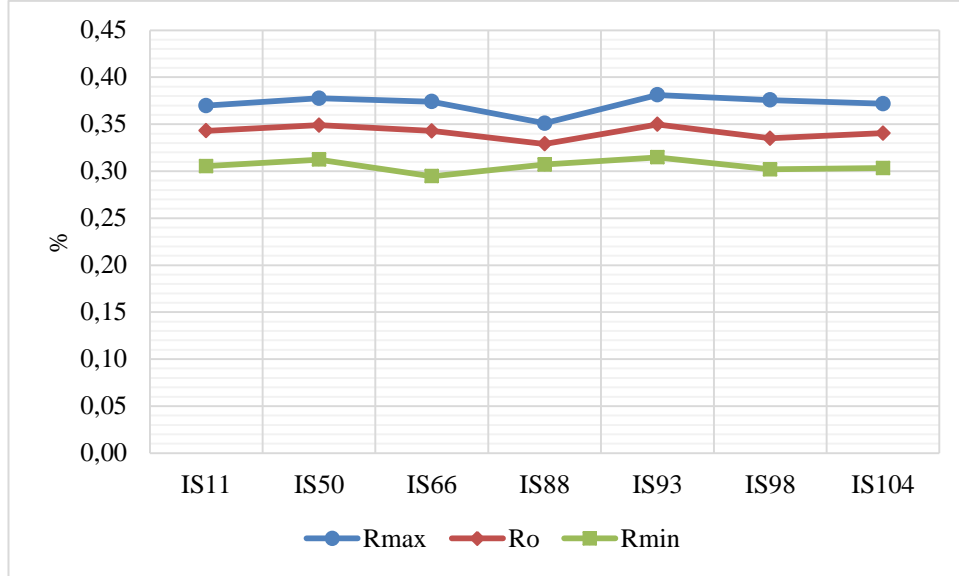
Vitrinit/hüminit yansımaya değerleri, kömürleşme derecesinin belirlenmesinde kullanılan en güvenilir parametrelerden biridir. Kömürlerde bulunan maseral grupları içerisinde sadece hüminit/vitrinit grubu maserallerin parlaklığı fiziksel ve kimyasal değişikliklerin artışına paralel olarak inertinit ve liptinit gruplarına göre nispeten düzenli bir değişim göstermektedir. Yansımaya değeri organik bileşenlerin aromatikliği ile ilgili olup artan kömürleşme düzeyiyle artmaktadır. Artan sıcaklığa bağlı olarak kerojenin yapısında meydana gelen kimyasal değişim, yansımaya derecesinin de artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle yansımaya ölçümleri sonucu elde edilen % Ro değerleri olgunluk parametresi olarak kullanılmaktadır (Stach vd. 1982). Linyitlerde yansımaya ölçümleri, genellikle hüminit maseral grubuna ait ülminit veya nadiren teksto-ülminit maserallerinde gerçekleştirilmektedir. Tez kapsamında yansımaya ölçümleri ülminit maserali üzerinde yapılmıştır.

İncelenen örneklerin hüminit yansımaya değerleri Ro 0,309 - % 0,368 arasında değişmektedir (Çizelge 4.8). Kömür içerisindeki kül, nem, uçucu madde ve ısıl değer kömürleşme düzeyinden ziyade kömür kalitesi ve kullanım alanları hakkında bilgiler vermekte, dolayısıyla yansımaya değerleri kömürleşme derecesinin belirlenmesinde daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bu değerlere göre Şarkikaraağaç havzası kömürleri ASTM sınıflamasına göre linyit, Alman DIN sınıflamasına göre yumuşak kahverengi kömür olarak belirlenmiştir.

Kömür örneklerinin kuyu bazında Rmax, Ro ve Rmin değerleri de Şekil 4.28'de verilmiştir. Stachh vd. (1982) tarafından yapılan sınıflamaya göre Şarkikaraağaç kömürlerinin olgunlaşmamış kömür sınıfında yer aldığı görülmektedir ve bu sonuç Rock-Eval analizi sonuçları tarafından da desteklenmektedir.

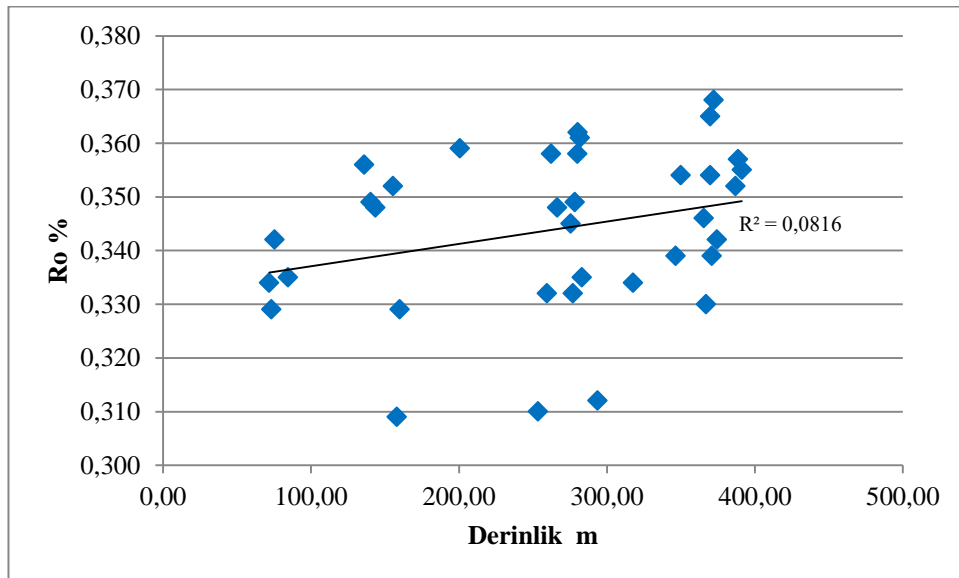
**Çizelge 4.8.** Kömür örneklerinin hüminit yansıma değerleri

Örnek No	Rmax (%)	Ro (%)	Rmin (%)
IS11-253,50	0,343	0,310	0,273
IS11-280,00	0,380	0,358	0,310
IS11-281,80	0,386	0,361	0,333
IS50-200,60	0,384	0,359	0,326
IS50-259,50	0,367	0,332	0,294
IS50-262,30	0,380	0,358	0,310
IS50-266,50	0,380	0,348	0,323
IS50-280,20	0,386	0,362	0,326
IS50-283,10	0,368	0,335	0,295
IS66-136,00	0,387	0,356	0,323
IS66-140,30	0,373	0,349	0,230
IS66-143,60	0,375	0,348	0,313
IS66-155,40	0,370	0,352	0,328
IS66-157,90	0,365	0,309	0,279
IS88-160,00	0,351	0,329	0,307
IS93-317,80	0,347	0,334	0,321
IS93-365,50	0,368	0,346	0,320
IS93-367,00	0,391	0,330	0,289
IS93-369,90	0,385	0,365	0,336
IS93-372,30	0,384	0,368	0,316
IS93-374,40	0,391	0,342	0,304
IS93-387,00	0,394	0,352	0,317
IS93-388,80	0,380	0,357	0,320
IS93-391,30	0,390	0,355	0,309
IS98-71,70	0,371	0,334	0,291
IS98-73,20	0,371	0,329	0,303
IS98-75,40	0,386	0,342	0,306
IS98-84,45	0,375	0,335	0,308
IS104-275,60	0,386	0,345	0,323
IS104-277,00	0,368	0,332	0,273
IS104-278,40	0,375	0,349	0,320
IS104-293,80	0,352	0,312	0,278
IS104-346,60	0,377	0,339	0,306
IS104-349,90	0,377	0,354	0,320
IS104-369,95	0,375	0,354	0,295
IS104-371,00	0,365	0,339	0,312



**Şekil 4.28.** Kömür örneklerinin kuyu bazında Rmax, Ro ve Rmin değerleri

Genel olarak tüm kömür örneklerinin yansımada değerlerinde belirgin bir düşüş veya yükselim görülmemekle birlikte, yansımada ölçümlerinin artan derinlikle birlikte arttığı görülmektedir (Şekil 4.29). Havzanın doğu kesiminde yer alan kömürlerin, batı kesiminde yer alan kömürlere göre daha yüksek yansımada değerleri sunduğu gözlenmiştir. Bu durumun doğudaki kömürlerin batıdaki kömürlere göre daha derinde bulunmasından ve kömürleşme düzeyinin daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



**Şekil 4.29.** Ro değerlerinin derinlikle değişimi

#### 4.6. Kömür ve Kayaç Örneklerinin Mineralojisi

Bu çalışma kapsamında Şarkikaraağaç kömür sahasından alınan kömür, taban, tavan ve arakesme kayaç örneklerinin mineralojisi irdelenmiştir. 28 adet örneğin tüm kaya, 24 örneğin ise kil fraksiyonunun belirlenmesi amacıyla X-ışınları difraktome (XRD) ile çekimleri TPAO Araştırma Merkezi Laboratuvarları tarafından gerçekleştirilmiştir.

Seçilen 18 adet kömür örneğinin XRD tüm kaya ve kil fraksiyonu sonuçları tablo halinde verilmiştir (Çizelge 4.9) Yarı nicel olarak değerlendirilen kömür örneklerinde kalsit, kuvars, kil mineralleri, dolomit, aragonit, feldispat grubu mineraller, plajiyoklaz grubu mineraller, kristobalit, siderit, ankerit, pirit, jips, analsim, mika grubu mineraller (biyotit, muskovit) ve amorf malzeme belirlenmiştir. Kömür örneklerinin önemli bir kısmını organik (amorf) madde oluşturmaktadır. İnorganik kısımda ise tanımlanan mineraller oldukça benzerlik göstermekle birlikte her seviyede kil minerallerinin bolluğu dikkat çekmektedir. Bu durum tüm çökelme süresi boyunca ortama kırıntılı malzeme geliminin devam ettiğini göstermektedir. Karbonat mineralleri de kömür bileşiminde önemli bir yer tutmaktadır. Karbonat grubu minerallerinin türü çoğunlukla ortamdaki su kütlesinin kimyası ve sıcaklığı ile ilişkilidir (Müller vd. 1972). Kömür örneklerinin ana karbonat minerali kalsittir, daha az oranlarda dolomit ve aragonit bulunmakla birlikte hemen her seviyede izlenmektedirler. Aragonit kalsit ve dolomitten daha az duraylı olması nedeniyle daha nadir olarak görülür. Mg/Ca oranının artmasına bağlı olarak kalsite ve dolomite dönüşür. Aragonit miktarı, fosil içeriği yüksek olan örneklerde diğer örneklerle göre artmaktadır. Bu durum fosil kavkaları ile aragonitin ilişkili olduğunu göstermektedir. Aragonitin fosil kavkalarıyla ilişkili olmadığı durumlar su sıcaklığının artmış olduğu durumlar olarak açıklanır. Öte yandan fosil kavkalarının hiç bulunmadığı örneklerde de oldukça yüksek değerler sunan karbonat minerallerinin varlığı sudan itibaren kimyasal çökelimin gerçekleştiğine işaret etmektedir. Kömür örneklerinde yoğun olarak bulunan bir diğer mineral olan kuvarsın varlığı da havzaya hemen hemen her dönemde detritik malzeme getiriminin fazla olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte kuvars, kaolinit grubu killerin mineralojik yapısında da bulunmaktadır. Pirit, incelenen tüm kömür örneklerinde belirlenmiştir. Piritin diyajenetik süreçlerle, gömülme ve kömürleşme sırasında çoğunlukla sinjenetik olarak oluştuğu düşünülmektedir. Kömür petrografisi çalışmalarında yoğun olarak gözlenen fromboidal kükürt varlıkları bu durumu desteklemektedir. Öte yandan, kalsit gibi bir mikar pirit de kömürlerin çatlak ve yarıklarında epijenetik olarak oluşabilmektedir. Neredeyse tüm kömür düzeylerinde tespit edilen jipslerin, sülfidlerin ikincil oksidasyonu ile oluştuğu tahmin edilmektedir.

Feldispat miktarı örneklerin çoğunda çok yüksek olmamakla birlikte, göreceli olarak bazı örneklerde yüksek değer sunmaktadır. Feldispat miktarındaki bu artış ve nadiren de olsa plajiyoklazların varlığı kömür oluşumu sırasında bataklığa volkanik malzeme gelişimiyle açıklanabilir. Mika grubu minerallerinden olan biyotit ve muskovit düşük oranlarda, hemen hemen tüm seviyelerde izlenmiş olup, bölgedeki temel kayaçlarda bulunan K-feldispatların ayrışmasından kaynaklandıkları düşünülmektedir. Çoğunlukla kömür katmanlarının eklem yerlerinde gözlenen ankerit az miktarda olmasına karşın hemen hemen bütün örneklerde saptanmıştır. İncelenen kömür örneklerinde, ankerit gibi siderit de düşük miktarlarda ancak yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Sideritin marnlardaki demir içerikli konkresyonlardan veya volkanik

kayaçlardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Post-volkanik, magmatik ya da ikincil olarak oluşabilen bir mineral olan kristobalit, örnekler içerisinde yaygın ama düşük miktarlarda bulunmaktadır.

Kömür örneklerine ait kil fraksiyonunda baskın kil minerallerinin smektit ve illit olduğu belirlenmiş, bunlardan daha az miktarlarda klorit ve kaolinit saptanmıştır. Gömülme diyajeneziyle birlikte smektitin illite dönüştüğü bilinmektedir. Her örnekte izlenmemesine karşın, smektitin incelenen kömür örneklerinde yüksek miktardaki varlığı, henüz illite dönüşmediğini göstermektedir. Bu durum organik jeokimyasal verilerden elde edilen olgunlaşmamış kömür sonucunu desteklemektedir. Kömürler içerisinde mevcut olan illit ve kloritlerin ortama dışarıdan taşınarak geldiği, smektit ve kaolinitlerin ise feldispatların yerinde alterasyonu sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Smektiti ve kaolinitin volkanizmanın ürünleri olan piroklastik kayaçlarla olan yakın ilişkisi ve bu tür malzemenin göl ve bataklık ortamında diyajenez ile oluştuğu, kimyasal ve mineralojik verilerle ispatlanmıştır (Zielinski 1985; Senkay vd. 1987). Smektitin meydana gelebilmesi için alkalın indirgen koşullar gerekirken, kaolinit oluşumu asidik koşullara ihtiyaç duyar. Smektitin, klorit ve kaolinit ile birlikte oluşu, sıcak ve yarı-kuru iklimlerde feldspat alterasyonunu işaret eder. Kaolinit oluşumu ise tropikal-suptropikal humid iklimsel koşullarda gerçekleşmektedir (Koca 2011). Klorit yeşilist fasiyesini karakterize eden ve metamorfik kayaçlarda yaygın bir şekilde bulunan bir mineraldir. Killerde de çeşitli kil mineralleri ile birlikte sık olarak rastlanılır. Kloritlerin kömüre kil ile birlikte taşınarak dahil olduğu, illitlerin de havzanın temelini oluşturan metamorfitlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kömür taban, tavan ve arakesmelerinden alınan örneklerde yapılan 10 adet XRD tüm kaya ve 8 adet kil fraksiyonu analizlerinde kalsit, kuvars, kil mineralleri, dolomit, aragonit, feldispat grubu mineraller, plaiyoklaz grubu mineraller, kristobalit, siderit, ankerit, pirit, jips, analsim, mika grubu mineraller (biyotit, muskovit) tespit edilmiştir (Çizelge 4.10). Havzanın kenar kesimlerinde bulunan 93, 98, 104 numaralı kuyulara ait örnekler, kömürde belirlenen mineralojik dağılıma benzer özellik sunmakta ve kırıntılı kökene ait minerallerin bolluğu dikkat çekmektedir. Öte yandan havzanın merkezinde bulunan kuyulardan alınan örneklerde karbonatların baskınlığı söz konusudur. Bu durum, havzanın kenar kesimlerinde kırıntılı çökelimin, orta kesimlerinde ise kimyasal çökelimin etkin olduğunu göstermektedir. Karbonatların hakim mineralini kalsit oluştururken, aragonit ve dolomit sıklıkla izlenmesine karşın oldukça düşük miktarlar sunmaktadır. Feldispat ve plajiyoklazlar sadece kenar kesimlerinden alınan kuyu örneklerinde saptanmıştır. Kuvars, pirit, kristobalit, siderit ve ankerit de hemen hemen her seviyede gözlenmelerine karşın miktarları düşüktür. Analsim sadece bir örnekte çok küçük miktarda belirlenmiş, mika mineralleri ve jips sadece havza kenarından alınan kuyulardaki örneklerde saptanmıştır. Hem kömür örneklerinde, hem de taban, tavan ve arakesme örneklerinde belirlenen mineralojik dağılımın derinlikle ilişkisi saptanamamıştır.

Çizelge 4.9. Şarkikaraağaç kömürlerinin tüm kaya ve kil bileşenleri

Örnek No	Kln	İ	Sm	Kl	TKM	Kal	Arg	D	Felds	Plj	Q	P	Krst	S	Ank	Mika		A	J
																B	M		
IS11-281,80	+	++	+	++	**	**	*	*	*	*	**	*	*	*	*	*	*	*	*
IS50-200,60	+	++	+		**	**	*	*	*		**	*		*	*	*	*	*	*
IS50-259,50	+	++	+		**	**	*		*		**	*		*		*	*	*	
IS50-266,50		++		+	**	**	*	*	*		*	*	*	*					*
IS66-143,60	+	+	++	+	***	**	*	*			*	*	*	*					
IS66-155,40	+	++	++		***	**	*	*	*	*	**	*	*	*	*	*	*	*	*
IS88-160,00	+	+	++	+	***	**	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
IS88-173,00	+	++		+	**	**	**	*	*		**	*	*	*	*	*	*	*	*
IS93-365,50	+	+	++	+	**	*		*	*		**	*	*	*	*	*	*	*	*
IS93-367,00	+	++	+		**	*	*	*	*		**	*	*	*	*	*	*	*	*
IS93-369,90	++	++		+	**	*	*	*	*		**	*	*	*	*	*	*	*	*
IS98-73,20	+	+	++	+	**	**	*		*		*	*	*	*	*	*	*		
IS98-75,40	+	++	+		**	**	*		*		*	*	*	*	*	*	*		*
IS98-84,45	+	+	++		***	*	*	*	*		**	*	*		*	*	*		*
IS104-275,60	+	++		+	**	**		*			*	*	*		*		*		*
IS104-277,00	+	++		+	**	*		*	*		**	*	*	*	*	*	*	*	*
IS104-346,60	+	++		+	**	**	*	*			**	*	*	*	*	*	*	*	*
IS104-371	+	++		+	**	**	*		*		*	*	*		*	*	*		*

Kln (Kaolinit), İ (İllit), Sm (Smektit), Kl (Klorit), TKM (Toplam kil miktarı), Kal (Kalsit), Arg (Aragonit), D (Dolomit), Felds (Feldispat), Plj (Plajiyoklaz), Q (Kuvars), P (Pirit), Krst (Kristobalit), S (Siderit), Ank (Ankerit), B (Biyotit), M (Muskovit), A (Analsim), J (Jips) .'+', '\*' Minerallerin nispi bollukları

**Çizelge 4.10.** Kömürlü birimlerin taban, tavan ve ara kesme örneklerin tüm kaya ve kil bileşenleri

Örnek No	Kln	İ	Sm	Kl	TKM	Kal	Arg	D	Felds	Plj	Q	P	Krst	S	Ank	Mika		A	J
																B	M		
IS11-299,00	+	++	++	+	***	*	*	*		*	*	*	*	*	*		*		*
IS50-264,65						***	*		*		*	*	*	*	*				
IS50-267,65						***	*	*			*	*	*	*	*				
IS66-144,30	+	++		+	*	***	*	*	*		*	*	*	*	*				
IS88-157,90						***		*				*	*						
IS88-161,70						***	*	*			*	*	*	*	*				
IS93-366,20	+	+++		+	**	**		*	*		*	*	*	*	*	*	*		*
IS98-84,15	+	+	++	+	**	**			*	*	**	*	*	*	*	*	*		*
IS98-84,75	+	+	+++	+	***	*		*	*		*		*			*	*	*	
IS104-276,20	+	++	++	+	**	**	*				*	*	*		*	*	*		*

Kln (Kaolinit), İ (İllit), Sm (Smektit), Kl (Klorit), TKM (Toplam kil miktarı), Kal (Kalsit), Arg (Aragonit), D (Dolomit), Felds (Feldispat), Plj (Plajiyoklaz), Q (Kuars), P (Pirit), Krst (Kristobalit), S (Siderit), Ank (Ankerit), B (Biyotit), M (Muskovit), A (Analsim), J (Jips). '+', '\*' Minerallerin nispi bollukları



#### 4.7. Ana-iz Element Analizi

Çalışma sahasından alınan 30 kömür, 26 taban, tavan ve ara kesme örneğinin ana ve iz element analizleri gerçekleştirilmiştir. Kömür örneklerine ait element konsantrasyonlarının kuyu bazındaki aritmetik ortalaması ve sınır değerleri, üst kıtasal kabuk (UCC), Dünya, linyit, Türkiye, Amerika (ABD) ve Çin kömürlerinin aritmetik ortalama değerleri Çizelge 4.11'de verilmiştir. Örneklerin içerdiği ana ve iz elementlerin birbirleriyle, kükürtle ve külle olan ilişkilerini belirleyebilmek için istatistik programı kullanılarak korelasyon matrisi oluşturulmuş, pearson korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında belirlenen korelasyon katsayılarının hassasiyetinin % 95 ve % 99 oluşu değişkenler arasındaki ilişkinin % 5 ve % 1 olasılıkla geçersiz olduğunu göstermektedir. Kökensel yorumlarda kül ile pozitif korelasyon gösteren elementlerin inorganik birlikteliği, negatif korelasyon gösteren elementlerin ise organik birlikteliği ifade ettikleri kabul edilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Şarkikaraağaç kömürlerin ve UCC, Dünya, Linyit, Türkiye, ABD ve Çin kömürlerine ait element konsantrasyonlarının aritmetik ortalama değerleri

Element ppm	dl	Kuyu No							Şarkikaraağaç Kömürleri		UCC <sup>a</sup>	Dünya <sup>b</sup>	Linyit <sup>b</sup>	Türkiy <sup>d</sup>	ABD <sup>e</sup>	Çin <sup>f</sup>
		IS11	IS50	IS66	IS88	IS93	IS98	IS104	Aralık	Ort.						
Si*	0,01	9,84	3,03	4,55	2,06	5,46	10,39	3,19	0,85-19,21	4,88	31,1	- <sup>c</sup>	-	5,1	2,4	3,96
Al*	0,01	3,59	1	1,18	0,9	3,33	3,42	1,54	0,32-7,16	2,15	8,15	1 <sup>c</sup>	-	2,1	1,5	3,16
Fe*	0,04	3,64	1,22	1,35	1,2	3,84	3,02	1,44	0,28-5,32	2,29	3,92	1 <sup>c</sup>	-	2,3	1,3	3,39
Mg*	0,01	1,62	1,07	1,28	0,84	0,88	1,67	1	0,7-2,3	1,10	1,5	0,02 <sup>c</sup>	-	0,5	0,11	0,13
Ca*	0,01	0,18	13,42	16,36	9,77	1,48	9,63	4,51	0,91-28,57	7,46	2,57	1 <sup>c</sup>	-	1,8	0,46	0,88
Na*	0,01	0,18	0,1	0,09	0,09	0,14	0,18	0,1	0,07-0,37	0,12	2,43	0,02 <sup>c</sup>	-	0,1	0,08	0,12
K*	0,01	0,44	0,22	0,22	0,19	0,85	0,58	0,31	0,08-1,82	0,45	2,32	0,01 <sup>c</sup>	-	0,3	0,18	0,16
Ti*	0,01	0,31	0,06	0,08	0,05	0,13	0,23	0,07	0,02-0,44	0,12	0,38	0,05 <sup>c</sup>	-	0,1	0,08	0,2
P*	0,01	0,03	0,04	0,07	0,04	0,02	0,04	0,04	0,004-0,07	0,03	0,07	- <sup>c</sup>	-	-	0,04	0,04
Mn*	0,01	0,02	-	0,04	0,02	0,02	0,06	-	<0,01-0,11	-	0,08	0,05 <sup>c</sup>	-	-	0,05	0,01
Cr*	0,002	0,01	-	0,00	0,01	-	0,01	-	<0,001-0,03	-	0,01	- <sup>c</sup>	-	-	-	-
TOT C*	0,02	26,64	32,53	25,52	23,12	32,15	20,04	40,1	3,99-47,63	31,09	-	-	-	-	-	-
TOT S*	0,02	3,54	2,98	2,31	2,29	5,68	1,77	3,95	0,38-7,49	3,69	-	-	-	-	-	-
Be	1	1	-	2		1,5	-	-	<1-5	-	2,1	1,6	1,2	1,3	2,2	2,1
Sc	1	1	-	3,5	1,5	6,25	11	-	<1-18	-	14	3,9	4,1	4,8	4,2	4,38
V	8	125	33,2	45,67	45	64,25	121,33	31,43	8-149	58,03	97	25	22	65	22	35,1
Co	0,2	19,35	6,86	4,93	6,95	11,71	17,20	6,57	2-31,8	9,77	17,3	5,1	4,2	10	6,1	7,08
Ni	0,1	143,65	44,8	36,53	30,95	29,75	119,67	37,29	9,4-239,2	51,36	47	13	9	150	14	13,7
Cu	0,1	47,9	7,84	9,40	6,95	25,75	34,13	10,79	1,9-56	18,70	28	16	15	20	16	17,5

Çizelge 4.11'in devamı

Zn	1	4	14,80	11,67	11,5	31,50	33	13,57	4,0-71	21,93	67	23	18	40	53	41,4
Ga	0,5	8,45	-	-	-	22,5	7,07	-	0,6-95	-	17,5	5,8	5,5	5,8	5,7	6,55
As	0,5	2,65	6,16	8,03	5,9	13,24	6,57	6,24	1,8-32,9	8,04	4,8	8,3	7,6	65	24	3,79
Se	0,5	0,85	-	-	0,8	-	-	-	<0,5-1,3	-	0,09	1,3	1	-	2,8	2,47
Rb	0,1	27,65	13,32	12,6	13	54,15	43,43	21	4,48-112,9	29,87	84	14	10	25	21	9,25
Sr	0,5	60,8	303,5	346,4	347,7	88,05	194,9	137,7	52,7-719,8	187,57	320	110	120	210	130	140
Y	0,1	8,55	3,7	3,2	3,3	8,99	12,13	3,2	1,1-19,7	6,08	21	8,4	8,6	8,3	8,5	18,2
Zr	0,1	83,65	28,6	30,63	54,95	41,85	65,07	28,47	7,6-125	41,38	193	36	35	-	27	89,5
Nb	0,1	14,9	3,48	2,8	5,55	6,21	8,23	3,26	0,6-21,1	5,46	12	3,7	3,3	4	2,9	9,44
Mo	0,1	2,45	2	3	3,4	4,38	3,93	2,53	0,5-14,3	3,17	1,1	2,2	2,2	9,8	3,3	3,08
Ag	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53*	0,1	0,1	-	-	-
Cd	0,1	0,1	0,1	-	-	0,1	-	-	<0,1-0,1	-	0,09	0,22	0,2	-	0,47	0,25
Sn	1	-	-	-	-	1,33	3	-	<1-3	-	2,1	1,1	0,8	-	1,3	2,11
Sb	0,1	0,15	0,3	0,27	0,4	1,44	0,1	0,53	0,1-2,9	0,63	0,4	0,92	0,8	2,7	1,2	0,84
Cs	0,1	1,45	1,12	1,1	1,8	3,7	3,4	1,96	0,6-8,3	2,30	4,9	1	1	4,9	1,1	1,13
Ba	1	115,5	242,6	351	202	255,8	240,3	262,7	85-1021	250,27	624	150	150	130	170	159
La	0,1	12,4	5,1	4,7	4,85	8,78	13,2	5,73	2,2-27,5	7,47	31	11	10	-	12	22,5
Ce	0,1	22,1	9,4	8,93	9,15	17,13	25,53	11,06	3,2-53,6	14,24	63	23	22	-	21	46,7
Pr	0,02	2,64	1,05	0,93	1,06	1,97	2,99	1,19	0,36-6,24	1,62	7,1	3,5	3,5	-	-2,4	6,42
Nd	0,3	9,35	3,96	3,83	4,15	7,79	11,7	4,36	1,5-23,2	6,21	27	12	11	-	9,5	22,3
Sm	0,05	1,76	0,74	0,56	0,81	1,67	2,25	0,8	0,19-4,42	1,21	4,7	2	1,9	-	1,7	4,07
Eu	0,02	0,52	0,17	0,17	0,16	0,43	0,61	0,2	0,06-1,02	0,31	1	0,47	0,5	-	0,4	0,84
Gd	0,05	1,71	0,73	0,64	0,76	1,86	2,32	0,78	0,24-4,06	1,26	4	2,7	2,6	-	-1,8	4,65
Tb	0,01	0,28	0,11	0,1	0,1	0,3	0,37	0,12	0,03-0,62	0,2	0,7	0,32	0,3	-	0,3	0,62
Dy	0,05	1,7	0,64	0,65	0,64	1,77	2,16	0,66	0,19-3,54	1,17	3,9	2,1	2	-	1,9	3,74

Çizelge 4.11'in devamı

Ho	0,02	0,35	0,14	0,13	0,13	0,35	0,44	0,13	0,04-0,73	0,24	0,83	0,54	0,5	-	-0,35	0,96
Er	0,03	0,99	0,36	0,37	0,38	1,03	1,29	0,37	0,13-2,18	0,68	2,3	0,93	0,9	-	-1	1,79
Tm	0,01	0,15	0,05	0,04	0,05	0,15	0,18	0,05	0,01-0,3	0,09	0,3	0,31	0,3	-	-0,15	0,64
Yb	0,05	0,97	0,35	0,31	0,34	0,98	1,13	0,32	0,11-1,18	0,63	2	1	1	-	0,95	2,08
Lu	0,01	0,15	0,05	0,05	0,05	0,15	0,17	0,06	0,02-0,28	0,10	0,31	0,2	0,2	-	-0,14	0,38
Hf	0,1	2,15	0,6	0,73	0,95	1,08	1,77	0,71	0,2-3,5	1,01	5,3	1,2	1,2	-	0,73	3,71
Ta	0,1	0,85		0,15	0,2	0,36	0,5	-	<0,1-1,2	-	0,9	0,28	0,3	-	0,22	0,62
W	0,5	6,35	12,06	7,17	11,25	5,83	10,13	14,5	3-18,9	9,85	1,9	1,1	1,2	-	1	1,08
Au**	0,5	3,9	-	-	-	1,16		-	<0,5-4,1	-	1,5	3,7	3	-	-	-
Hg	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08	0,04	0,06	0,02-0,17	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,17	0,16
Tl	0,1	-	-	-	-	-	0,2	-	<0,1-0,2	-	0,9	0,63	0,7	-	1,2	0,47
Pb	0,1	2,65	2,58	1,73	2,4	11,08	6,63	-	0,8-18,4	5,51	17	7,8	6,6	9,3	11	15,1
Bi	0,1	-	0,10	-	-	0,27	0,2	0,2	<0,1-0,4	-	0,16	0,97	0,8	-	(<1)	0,79
Th	0,2	2,8	1,6	1,57	2,35	5,99	4,67	2,53	0,5-11,4	3,42	10,5	3,3	3,3	-	3,2	5,84
U	0,1	1,25	1,78	2,33	2,75	7,4	3,5	2,27	0,3-17	3,65	2,7	2,4	2,9	13	2,1	2,43

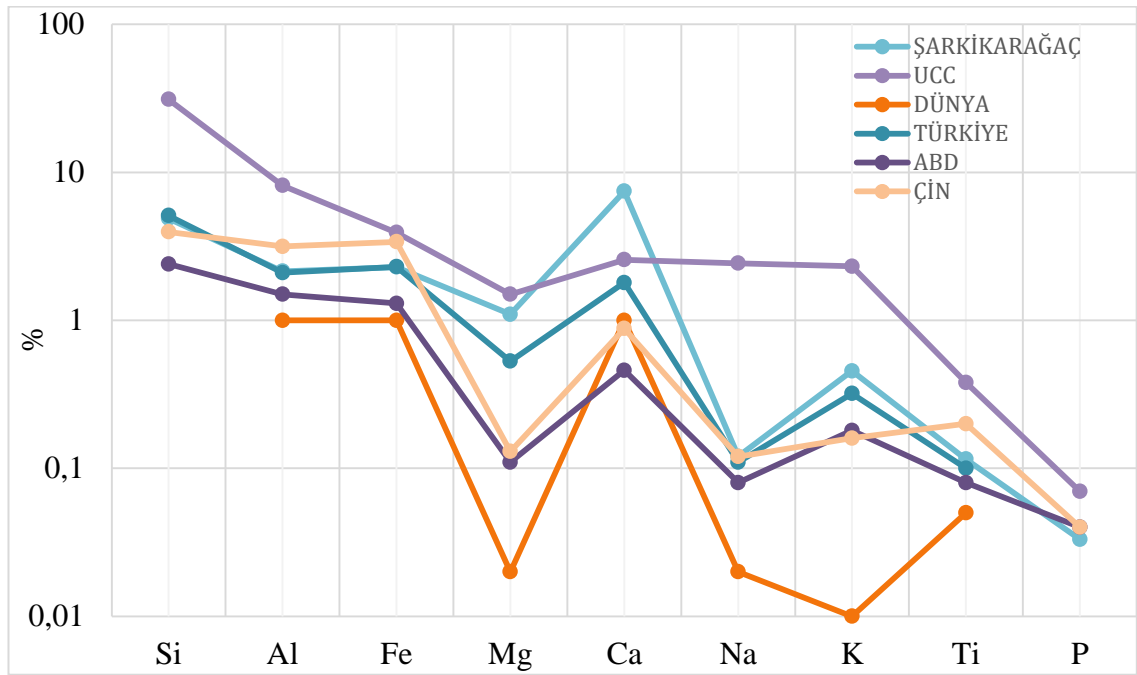
<sup>a</sup>Rudnick ve Gao (2003)<sup>b</sup>Ketris ve Yudovich (2009)<sup>c</sup>Valkovic (1983)<sup>d</sup>Palmer vd. (2004)<sup>e</sup>Finkelman (1993) ((parantez içindeki veriler USGS CD-ROM'dan hesaplanarak alınmıştır (7430 örnek))<sup>f</sup>Dai vd. (2007, 2008, 2012)

dl: Dedeksiyon limiti, TOT C: Toplam karbon, TOT S: Toplam kükürt

\*%, \*\*ppb

#### 4.7.1. Kömür örneklerinin ana element analiz sonuçları ve değerlendirilmesi

Şarkikaraağaç kömürlerinde Si, Al, Fe, Mg ve Ca elementleri dışındaki ana elementlerin ortalama değerleri % 1'in altındadır. Si, Al, Fe, Mg ve Ca değerleri için sınır değerler sırası ile % 0,85-19,21; % 0,32-7,16; 0,28-5,32; 0,7-2,3 ve % 0,91-28,57'dir. Cr ve Mn elementleri çoğu örnekte deteksiyon limitlerinin altında kaldığından yorumlamalara alınmamıştır. Ca elementi hariç diğer tüm elementler UCC'nin altında konsantrasyon sergilemiştir (Şekil 4.30). Ana element konsantrasyonları ile mineralojik bileşim arasındaki ilişki korelasyonla belirlenebilmektedir (Vassilev ve Vassileva 1996; Radenovic 2006; Baba vd. 2008). Çalışma sahasındaki kömür örneklerinin ana element değerleri (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P) istatistiksel analiz ile yorumlanmıştır. Kömürlerinin ana element Pearson korelasyon matris değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.



**Şekil 4.30.** Şarkikaraağaç kömürleri ile UCC, Dünya, Amerika, Çin, Türkiye kömürlerine ait ana element konsantrasyonları

Çizelge 4.12. Şarkikaraağaç kömürlerinin ana element korelasyon matris değerleri

	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Ti	P	TOT C	TOT S	Kül	TOC
Si	1	,924**	,821**	,277	-,31	,920**	,827**	,970**	,107	-,555**	,131	,622**	-,607**
Al		1	,920**	,069	-,538**	,937**	,947**	,955**	-,15	-,417*	,348	,669**	-,607**
Fe			1	-,113	-,575**	,845**	,919**	,883**	-,284	-,321	,523**	,782**	-,548**
Mg				1	0,243	,206	-,109	,251	,355	-,3	-,485**	-,118	-0,18
Ca					1	-,411*	-,566**	-,429*	,643**	-,337	-,761**	-,338	0,166
Na						1	,862**	,946**	-,115	-,456*	,248	,605**	-,616**
K							1	,872**	-,198	-,337	,440*	,689**	-,484**
Ti								1	-,035	-,486**	,239	,676**	-,662**
P									1	-,313	-,516**	-,124	-0,12
TOT C										1	,506**	-,324	,385*
TOT S											1	,331	-0,031
Kül												1	-,535**
TOC													1

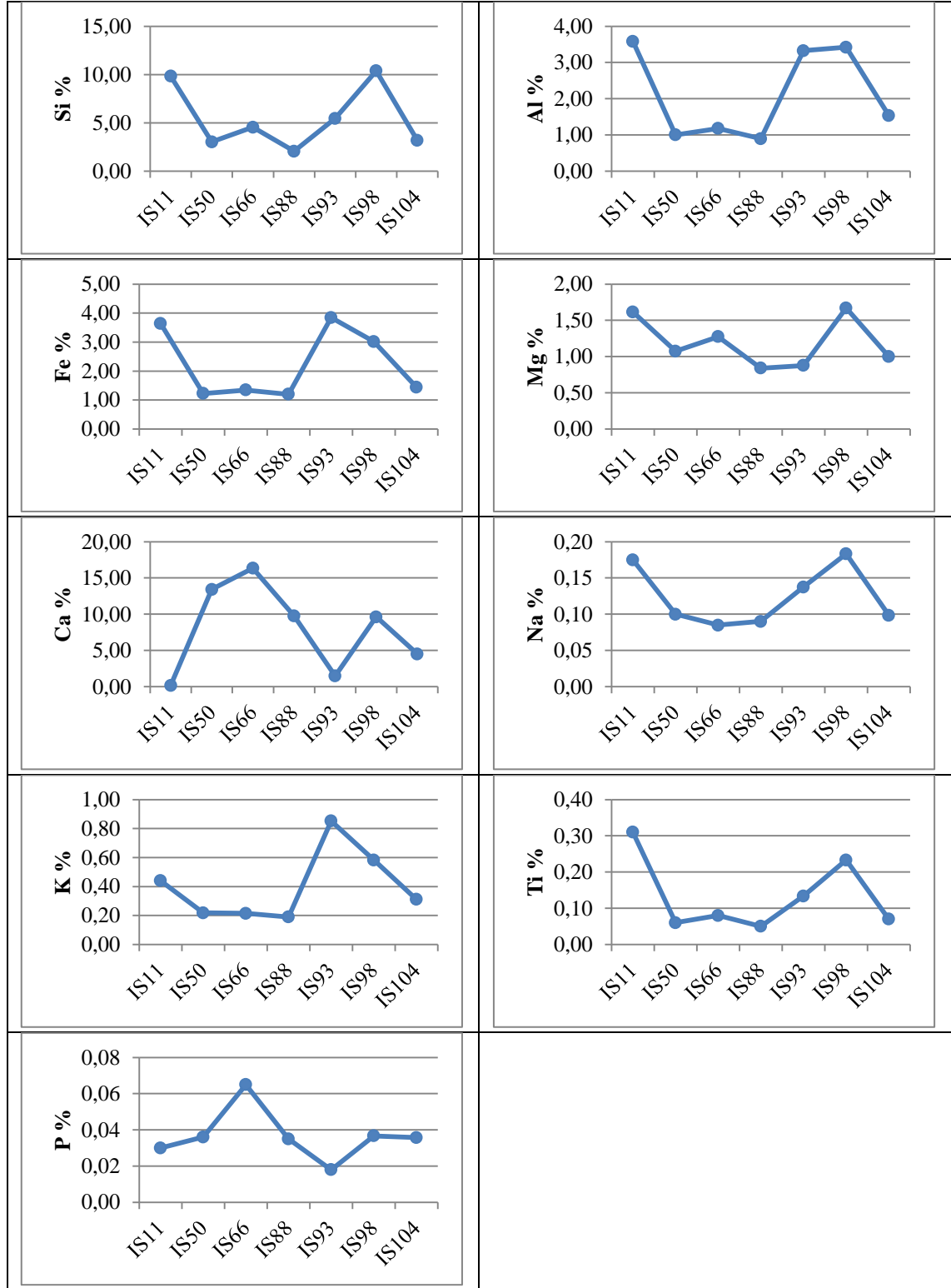
\* Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır

\*\* Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır

Kömür örneklerine ait ana element ortalama konsantrasyon değerlerine baktığımızda Si, ABD ve Çin kömürlerine göre yüksek değerler sunarken, Türkiye kömürlerine göre düşük değerler vermiştir. Genel olarak % 4,88 ortalama sunan Si, IS11 ve IS98 numaralı kuyularda ortalama değerini iki katından fazladır (Şekil 4.31). Si ile kül arasında orta pozitif korelasyon bulunmaktadır (Şekil 4.32). Toplam karbon ve TOC ile negatif korelasyon sunmuştur. Ana elementlerden ise Al, Na, Ti, Fe ve K ile pozitif korelasyon göstermektedir. Mg, Ca, P ve toplam kükürt ile herhangi bir korelasyon göstermediği belirlenmiştir. TOC'ca zengin sedimanlardaki Si konsantrasyonunun yüksekliği detritik bir kaynağa işaret eder ve diyajenetik silika çökelişini belirtir. Silika, düşük pH ortamında kalsite nazaran daha az çözülebilir ve dolayısıyla kuvarsa rekristalize olan biyojenik silika korunur (Karuskopf 1955). Sonuç olarak Si, detritik kuvars ve/veya biyojenik silika ile ilişkili olabilir. Çalışma alanına ait kömür örneklerinde belirlenen Si'un, kül ile gösterdiği pozitif korelasyon bu element için inorganik kökene işaret etmektedir. Si, Al, K ve Ti yaygın olarak kil minerallerinde ve Si ayrıca opal-CT'de bulunmaktadır (Karayiğit 2003; Karayiğit ve Çelik 2003). Bunun yanı sıra Si'un Al, Fe, Na, K ve Ti ile olan pozitif korelasyon ilişkisi göz önünde bulundurulduğunda, bu elementlerin kökensel olarak ilişkili olduğu ve detritik bir kaynağı belirttikleri belirlenmiştir.

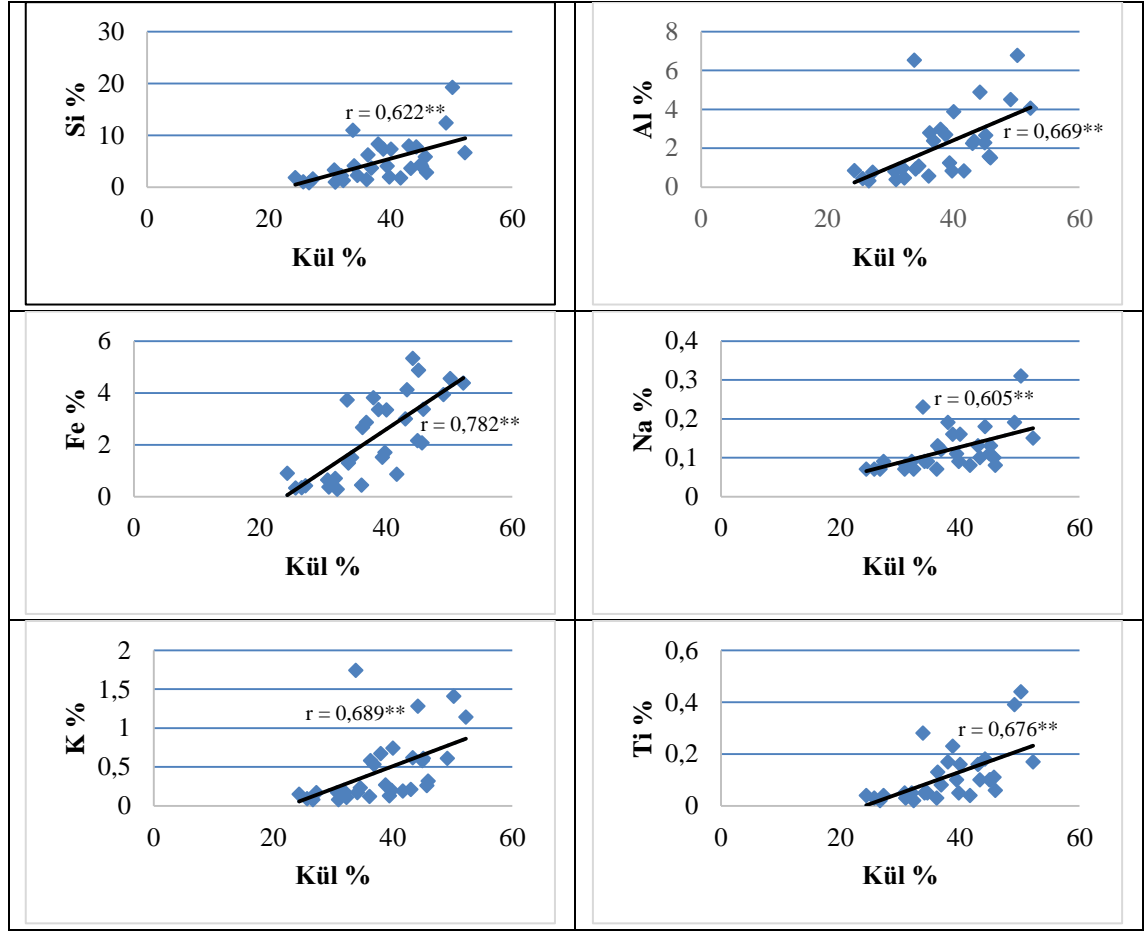
Al, Dünya ve ABD kömürlerine göre yüksek değerler sunmaktadır. Genel olarak % 2,15 ortalama sunan Al, havzanın güneyinde bulunan IS11, IS93, IS98 ve IS104 numaralı kuyularda, diğer kuyulara nazaran daha yüksek değerler sergilemektedir. Al ile Si, Fe, Na, K, Ti ve kül arasında pozitif korelasyon bulunmaktadır. Toplam karbon, TOC ve Ca ile negatif korelasyon sunmuştur. Mg, P ve toplam kükürt ile herhangi bir korelasyon göstermediği belirlenmiştir. Alüminyum kil mineralleri ve feldispatla birlikte bulunur (Boggs 2009). Karasal kökene işaret ettiği bilinen Al, Si ve Ti arasındaki yüksek korelasyon detrital killerin ortamdaki varlığını yansıtmaktadır. Al ile K'un yüksek pozitif korelasyon göstermesi örneklerdeki illit varlığını belirtmektedir (Lo Monaco 2002). Si/Al oranının arttığı seviyeler detritik kuvarsların artışını, azaldığı seviyeler ise kil miktarının artışını gösterir.

% 2,29 ortalama sunan Fe, IS11, IS93, IS98 numaralı kuyularda, diğer kuyulara nazaran daha yüksek değerler sergilemektedir. Havzadaki kömürlerin Fe içerikleri Türkiye kömürleri ile benzer değerler sunarken, Dünya ve Amerika, kömür değerlerinin üstündedir. Fe ile kül, K, Al, Si, Na, Ti, toplam kükürt arasında pozitif korelasyon gözlenmektedir. TOC ve Ca ile negatif korelasyon sunmuştur. Mg, P ve toplam karbon ile herhangi bir korelasyon göstermediği belirlenmiştir. Fe hem kil minerallerinin yapısı içerisinde, hem de bağımsız demir mineralleri olarak bulunabilmektedir. Kül ile sunduğu yüksek pozitif korelasyon ve Al ile sunduğu çok yüksek pozitif korelasyon birlikte değerlendirildiğinde, örneklerdeki demir içeriğinin inorganik kökenle, özellikle de kil mineralleriyle ilgili olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte toplam kükürt ile gösterdiği yüksek korelasyon değerleri bir kısmının da pirit kaynaklı olabileceğine işaret etmektedir. Her seviyede kil mineralleri ve piritin varlığı XRD analizlerinde tespit edilmiş olup, bu durumu desteklemektedir.



Şekil 4.31. Kuyulara göre ana element ortalamaları





**Şekil 4.32.** Ana element-kül ilişkisi

Mg, % 1,1 ortalama ile karşılaştırılan tüm kömür ortalamalarının üzerinde bir konsantrasyon sergilemiştir. En yüksek Mg değerleri IS11 ve IS98 numaralı kuyularda izlenmektedir. Mg, havzadaki kömür örneklerinde sadece toplam kükürt ile negatif korelasyon sunmuştur. Diğer ana elementler, toplam kükürt, kül ve TOC ile arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Mg genel olarak kil mineralleri ve dolomit ile ilişkilendirilir. Kortenski ve Stirov (2002), Mg'un mineral maddenin yanı sıra az miktarda da organik maddede bulunabileceğini belirtmiştir. Mg ile Al arasında herhangi bir korelasyon olmaması ve XRD analizinde hemen her örnekte dolomite rastlanması kil minerali olasılığını düşürerek, dolomit kökene işaret eder. Bir miktar Mg fosil kavkılarında da kaynaklanmış olabilir.

Ca, % 7,46 ortalama ile ana elementler içinde en yüksek değeri sunmaktadır. Hem UCC, hem de karşılaştırma yapılan tüm kömür ortalamalarının üzerinde bir konsantrasyon sergilemiştir. Havzanın kuzey ve doğu kesimlerinde bulunan IS11, IS93 ve IS104 numaralı kuyularda, diğer kuyulara nazaran daha düşük değerler tespit edilmiştir. Havzanın bu kesmi muhtemelen daha derin ve alkalik karakterdedir. Ca, P elementi ile pozitif korelasyon gösterirken Al, Fe, Na, K, Ti ve toplam kükürt ile negatif korelasyon gösterir. Si, Mg, TOTC, kül ve TOC ile anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Ca, kömürlerde kil minerali, karbonat, sülfat ve organik köken gibi çeşitli formlarda bulunabilmektedir (Mukhopodhyay 1986, Karayığit 2003). P ile pozitif korelasyon

frankolit mineralini düşündürse de, XRD analizinde bu minerale rastlanılmamış olması söz konusu olasılığı ortadan kaldırmaktadır. Öte yandan Al, Fe, K gibi detritik kaynağa işaret eden elementler ile yaptığı negatif korelasyon, bunların kökensel olarak farklı olduğunu ve Ca'un kimyasal/biyokimyasal kökenli olduğunu göstermektedir. XRD analizlerinde, tüm seviyelerde yoğun bir şekilde rastlanan kalsit ve hemen hemen her seviyede belirlenen jips ile kömür örneklerinde gözlenen fosil kavkaları Ca'un kaynağını oluşturmaktadır.

Çalışma alanındaki Na konsantrasyonu, dünya ve ABD kömürlerinden yüksek, Türkiye ve Çin kömürlerine yakın değerler sunmuştur. Ortalaması % 0,12 olarak belirlenen Na, çalışma alanının kuzeyindeki IS66 ve IS88 numaralı kuyularda diğer kuyulara oranla daha düşük değerlerde tespit edilmiştir. Mg, P ve toplam kükürt ile Ca arasında anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Ca, toplam karbon ve TOC ile negatif korelasyon sergilerken, Si, Al, Ti, Fe ve K ile pozitif korelasyon göstermektedir. Kül ile sunduğu pozitif korelasyon inorganik kökeni belirtmektedir. TOC ile olan negatif korelasyon ilişkisi de bu durumu desteklemektedir. Si, Al ve Ti gibi detritik kökenli elementler ile gösterdiği yüksek korelasyon ve Ca ile gösterdiği negatif korelasyon, Na içeriğinin detritik olduğunu gösterir. Kömür örneklerindeki Na'un feldispatlar ve kil mineralleriyle ilişkili olduğu düşünülmektedir.

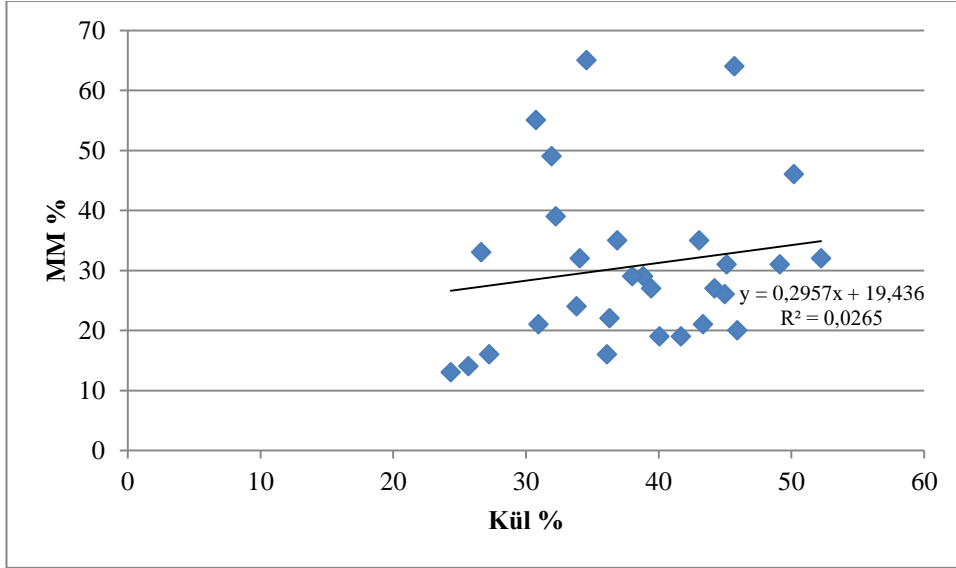
K, karşılaştırma yapılan tüm kömür ortalamalarının üzerinde bir konsantrasyon sergilemiştir. Kuyular arasında belirgin bir değişim göstermemekle birlikte K, IS93 numaralı kuyuda göreceli olarak yüksek değerler sunmaktadır. Ortalaması çalışma alanında % 0,45 olarak hesaplanmıştır. K, Al, Fe, Si, Na Ti ve toplam kükürt içeriği ile pozitif bir korelasyon sergilemektedir. Kül ile olan ilişkisi de pozitif korelasyon olarak belirlenmiştir ve bu durum inorganik kökene işaret etmektedir. Ca ve TOC ile negatif korelasyon sunan K, Mg, P ve toplam karbon ile ilişkilendirilememiştir. Kömürdeki K genel olarak silikat mineralleriyle ilişkilendirilmektedir. Na, K, ve Al genellikle Al-Si içeren fazlar ile (kil mineralleri, feldispat, analsim) nadir olarak da halit ile ilişkilidir (Karayığit vd. 2000a). XRD analizinde halit mineraline rastlanılmamış olması, K'un yoğun olarak kil mineralleri, daha az oranda feldispatlar ve nadiren de analsimle ilişkili olduğunu düşündürmektedir.

Çalışma alanındaki ortalaması % 0,12 olan Ti elementi Türkiye kömürlerine benzer özellik sunarken, Dünya ve ABD kömürlerine göre yüksek, Çin kömürlerine göre ise düşük değerler göstermiştir. Kuyu bazında ortalamaları ise Si, Al ve Fe ile benzer karakterdedir. IS11, IS93, IS98 numaralı kuyulardan alınan örneklerin Ti değerleri göreceli olarak daha yüksektir. Ti, Al, Si, Na, Fe ve K ile pozitif korelasyon göstermektedir. Kül ile olan ilişkisi de pozitif korelasyon olarak belirlenmiştir ve bu durum inorganik kökene işaret etmektedir. Ca, toplam karbon ve TOC ile negatif korelasyon sunmaktadır. Ti ile Mg, P ve toplam kükürt arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Ti, kil mineralleri ile mikron boyutundaki minerallerde (ojit, rutil, ilmenit vb) bulunmaktadır (Calvert 1976; Karayığit ve Whateley 1997; Baba vd. 2008; Karayığit 2003). Al, Si ve Ti arasındaki yüksek korelasyon detritik kil minerallerinin varlığını ortaya koymaktadır.

P, tüm karşılaştırma yapılan tüm kömür ortalamalarına göre düşük değerler sunmuştur. Göreceli olarak sadece IS66 numaralı kuyuda yüksek bir ortalamaya sahip P'nin havzadaki genel ortalaması 0,03'dür. P, havzadaki kömür örneklerinde sadece Ca

ile pozitif korelasyon ve toplam kükürt ile negatif korelasyon sunmuştur. Diğer ana elementler, toplam karbon, kül ve TOC ile arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Fosfor besince zengin ortamlarla ilişkilidir ve organik maddece zengin sedimanlar içine değişken oranlarda dahil olur. Bir başka fosfat kaynağı olan apatit genellikle bireysel taneler, hatta fosforit konkresyonları şeklinde bulunmaktadır (Koralay 2009). Bunlar dışında monazit ve kalsitte de P bulunabilmektedir. Ancak XRD analizinde monazit ve apatite rastlanılmamıştır.

Kül ile TOC arasında beklenildiği gibi negatif bir korelasyon bulunmaktadır. Yapılan istatistik analizinde kül ile pozitif korelasyon sergileyen inorganik kökenli elementler Si, Al, Fe, Na, K ve Ti'dur. Mg, Ca ve P kül, TOC ve toplam karbon ile anlamlı bir ilişki sunmamıştır. Ana elementler arasında doğrudan organik kökene işaret eden bir element bulunmamaktadır. Bu durum kömürün yüksek mineral madde içeriğinden kaynaklanmaktadır. Maseral analizi sonucunda hesaplanan mineral madde miktarı ile kül yüzdeleri karşılaştırılmış ve aradaki ilişki ile kimyasal analiz sonuçlarının maseral analizi sonuçları ile desteklendiği tespit edilmiştir (Şekil 4.33).

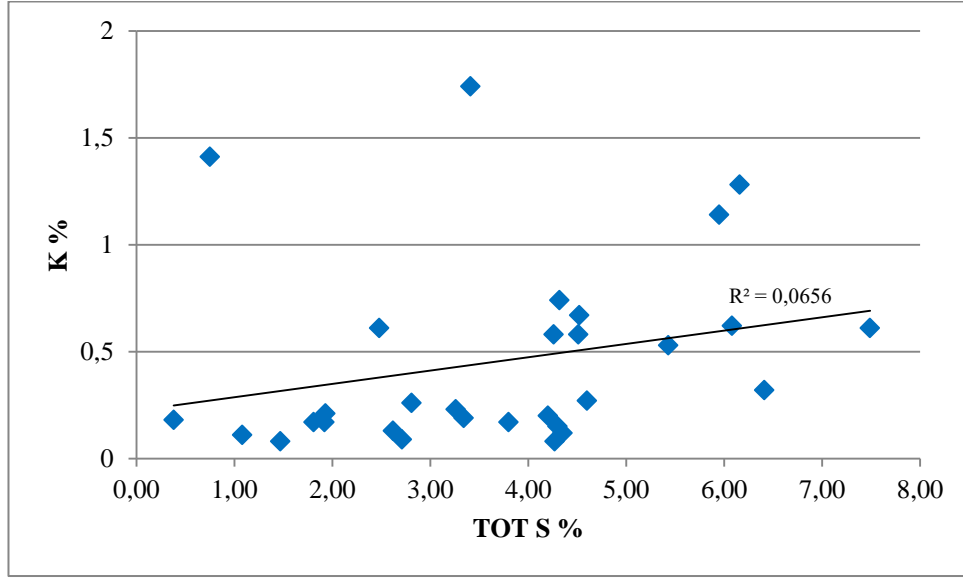


Şekil 4.33. Mineral madde ve kül arasındaki ilişki

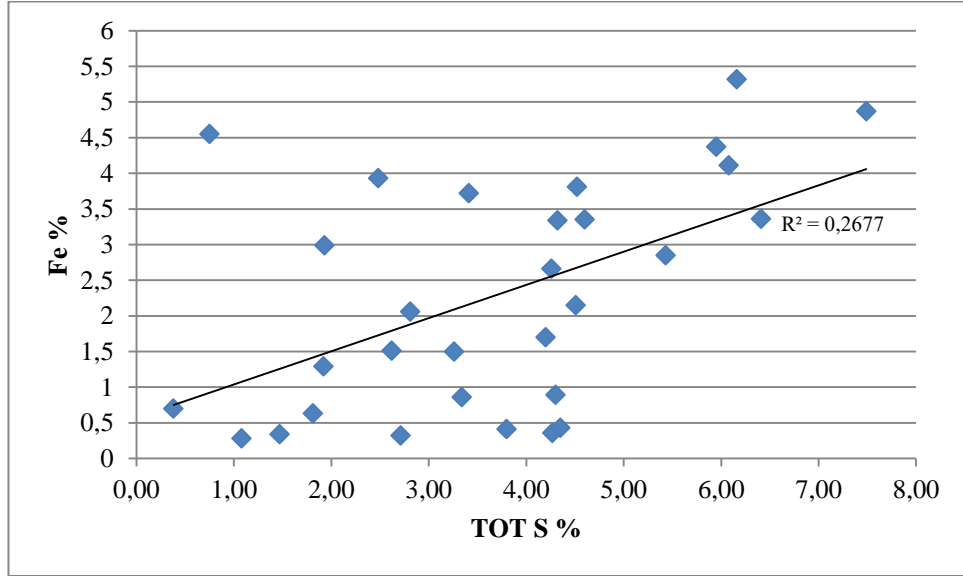
Gerek maseral analizinde, gerekse ana element analizinde kükürt değerlerinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Kömürdeki yüksek kükürt içeriği turba ortamında denizel etki olarak kabul edilmekle birlikte, Ca'ca zengin ortamlarda oluşan kömürlerde de yüksek kükürt içeriği gelişebilmektedir (Teichmuller ve Teichmuller 1982). Havzadaki yüksek kükürt içeriğinin, yüksek Ca içeriğinin işaret ettiği alkali koşullardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışma alanındaki kömür örneklerinde toplam kükürt içeriğinin Fe ve K'la pozitif korelasyon sergilediği belirlenmiştir (Şekil 4.34-35). Toplam kükürt ile Fe arasındaki bu ilişki, kükürtün önemli bir kısmının pirit minerallerinden geldiğini göstermektedir. Ana element analizi sonucunda elde edilen toplam kükürt miktarı ile maseral analizi sonucunda elde edilen pirit miktarı karşılaştırılmıştır (Şekil 4.36). İkisi arasındaki düşük derecede de olsa belirlenen negatif ilişki, toplam kükürt ile TOC

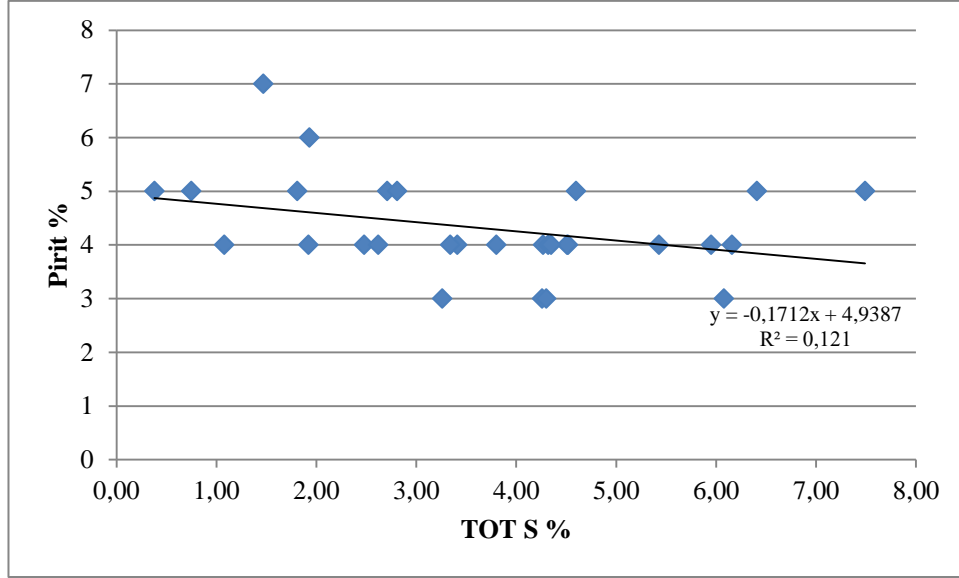
arasında belirgin bir ilişki olmamasına karşın, havzadaki kömürlerde bulunan kükürdün kaynağının piritin yanı sıra, bir kısmının da organik olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 4.34. Toplam kükürt ile S ilişkisi



Şekil 4.35. Toplam kükürt ile Fe ilişkisi

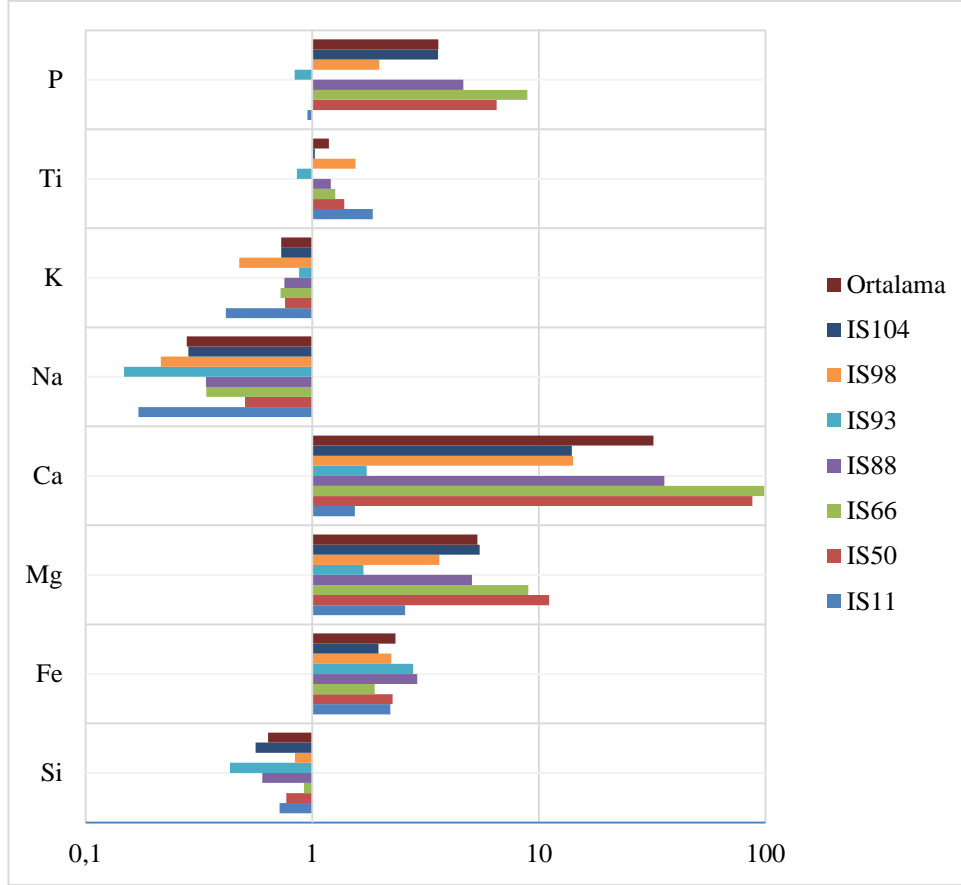


Şekil 4.36. Toplam kükürt ve pirit ilişkisi

İncelenen kömür örneklerindeki ana elementlerin zenginleşme faktörleri hesaplanmış, 1'den büyük değerler zenginleşmiş, 1'den küçük değer ise tüketilmiş olarak kabul edilmiştir. Çalışma alanındaki kömürlerde Si, Na ve K'un hem kuyu bazında, hem de genel ortalama açısından değerlendirildiğinde tüketilmiş olduğu belirlenmiştir. Fe, Mg ve Ca'un ise tüm kuyularda zenginleşmiş olduğu görülmektedir (Çizelge 4.13, Şekil 4.37). Ti, sadece IS93 numaralı kuyuda tüketilmiş, diğer kuyularda ise zenginleşmiştir. P ise karbonat oranlarının nispeten düşük olduğu IS11 ve IS93 numaralı kuyularda tüketilmiş, diğer kuyular ve ortalama değer baz alındığında zenginleşmiştir. İstatistik analizinde Ca, Mg ve P; kül, Toplam karbon, toplam kükürt ve TOC ile benzer korelasyon davranışı sergilese de, P ile Mg arasında ve Ca ile Mg arasında anlamlı bir ilişki elde edilememiştir. Mg ve özellikle Ca'un göstermiş olduğu yüksek zenginleşme faktörü değerleri, XRD analizlerinde de tespit edilen karbonat mineralleri yoğunluğunu desteklemektedir.

Çizelge 4.13. Şarkikaraağaç kömürlerine ait ana element zenginleşme faktörü değerleri

Element	EF= (element/Al) <sub>örnek</sub> /(element/Al) <sub>ucc</sub>							Ortalama
	IS11	IS50	IS66	IS88	IS93	IS98	IS104	
Si	0,72	0,77	0,92	0,60	0,43	0,84	0,56	0,64
Fe	2,21	2,26	1,88	2,91	2,78	2,23	1,96	2,33
Mg	2,57	11,10	8,98	5,06	1,68	3,64	5,47	5,35
Ca	1,54	87,42	98,51	35,76	1,74	14,18	13,98	32,05
Na	0,17	0,51	0,34	0,34	0,15	0,21	0,28	0,28
K	0,42	0,76	0,73	0,75	0,88	0,48	0,73	0,73
Ti	1,85	1,38	1,26	1,21	0,86	1,55	1,03	1,18
P	0,95	6,52	8,90	4,64	0,84	1,97	3,58	3,61



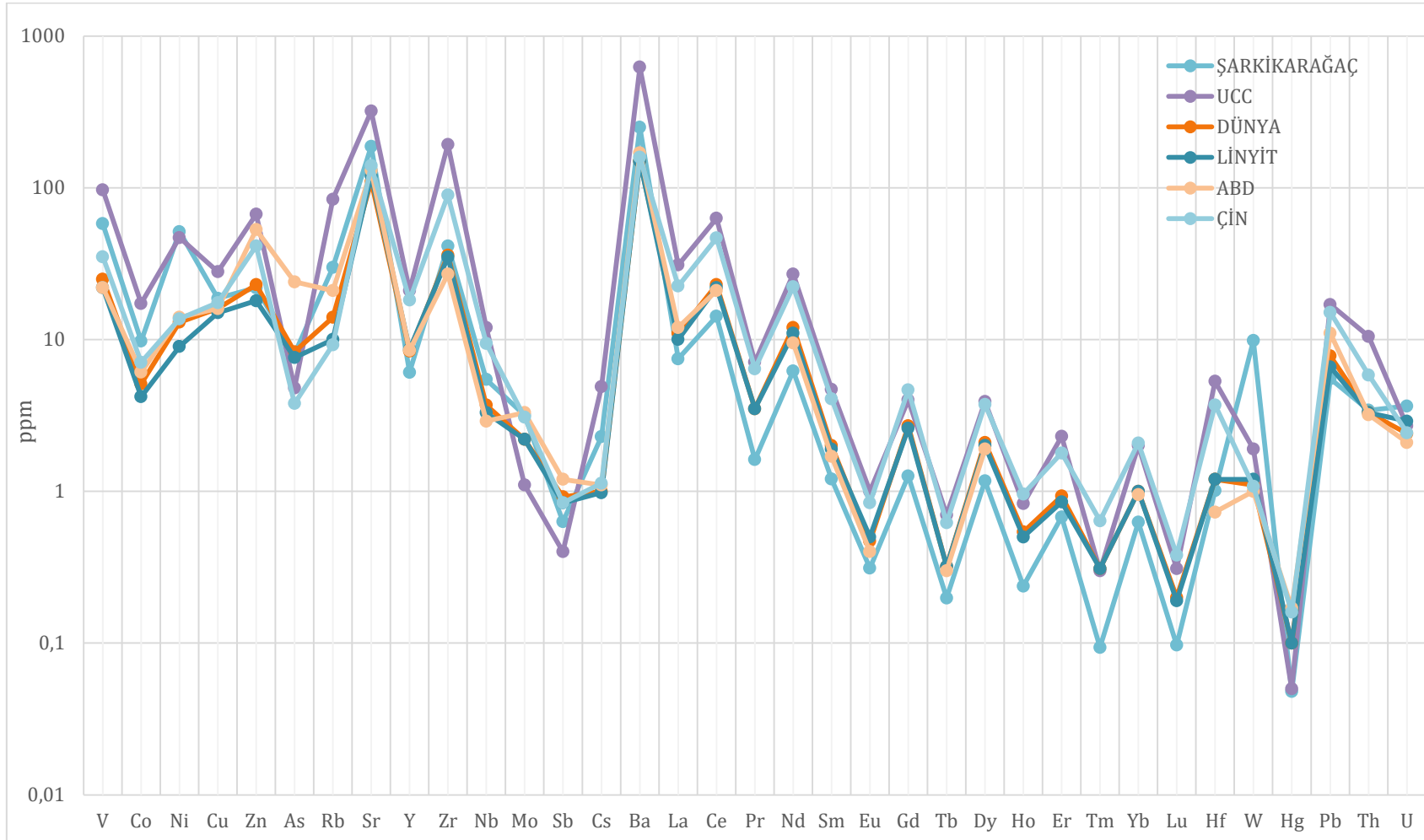
Şekil 4.37. Ana elementlerin UCC'na göre kuyu bazında zenginleşme faktörleri

#### 4.7.2. Kömür örneklerinin iz element analiz sonuçları ve değerlendirilmesi

İncelenen kömür örneklerinde toplam 46 iz elemente ait (Ba, Be, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Hg, Tl, Se, F) değerler belirlenmiştir. Bu iz elementlerden 11 tanesi (Be, Sc, Ga, Se, Ag, Cd, Sn, Ta, Au, Tl, Bi) örneklerin büyük bir bölümünde deteksiyon limitlerinin altında kalmasından dolayı değerlendirmeye alınmamıştır. Kömür örneklerinin iz element içeriklerinin ortalama konsantrasyon değerleri Dünya, Türkiye ve diğer ülke kömürleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.38). Y, Sb, Hg, Pb iz elementleri tüm kömürlere göre düşük değerler sunarken, Rb, Ba, W yüksek değerler sunmuştur. Co, Türkiye kömürleri ile yakın değerlere sahipken, diğer kömürlerden yüksek değerler göstermiştir. V, Ni, Cu, Sr, Mo, Cs, U konsantrasyonları Türkiye kömürlerinden düşük, diğer kömür değerlerinden ise yüksektir. Zn, dünya, Türkiye, ABD ve Çin ortalamalarının altında, linyit ortalamalarının üstünde değerler sunmuştur. As, Dünya, Türkiye ve ABD kömürlerinden düşük, Çin ve linyit ortalamalarından yüksek konsantrasyonlar vermiştir. Hf, ABD kömürleri hariç diğer kömür ortalamalarından düşük değerler sunmuştur. Zr, Nb, Th Çin kömürleri hariç, diğer kömürlerden yüksek değerlerde ölçülmüştür. Nadir toprak elementleri (NTE) La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu iz elementlerinden oluşmakta olup tüm ülke kömürlerine göre düşük değerler vermiştir. Türkiye kömürleri için ortalama değer belirlenmemiştir. Üst kıta kabuğu ortalamalarına

göre Hg yakın değerler sunarken, Ca, Ni, As, Mo, Sb, W ve U hariç diğer elementler düşük konsantrasyon değerlerine sahiptir.

İz elementlerin birbirleriyle ve TOC, kül, kükürt ile olan ilişkilerinin belirlenmesi ve kökensele açıdan değerlendirme yapabilmek için korelasyon katsayıları hesaplanmıştır (Çizelge 4.14). Elementlerin, gruplandırılmamış veri matrisindeki benzerliklerine göre sınıflandırmak için cluster (kümeleme) analizi yapılmış ve buna ait dendogram Şekil 4.39'da verilmiştir.



Şekil 4.38. Şarkikaraağaç kömürleri ile UCC, Dünya, Amerika, Çin, linyit kömürlerine ait iz element konsantrasyonları

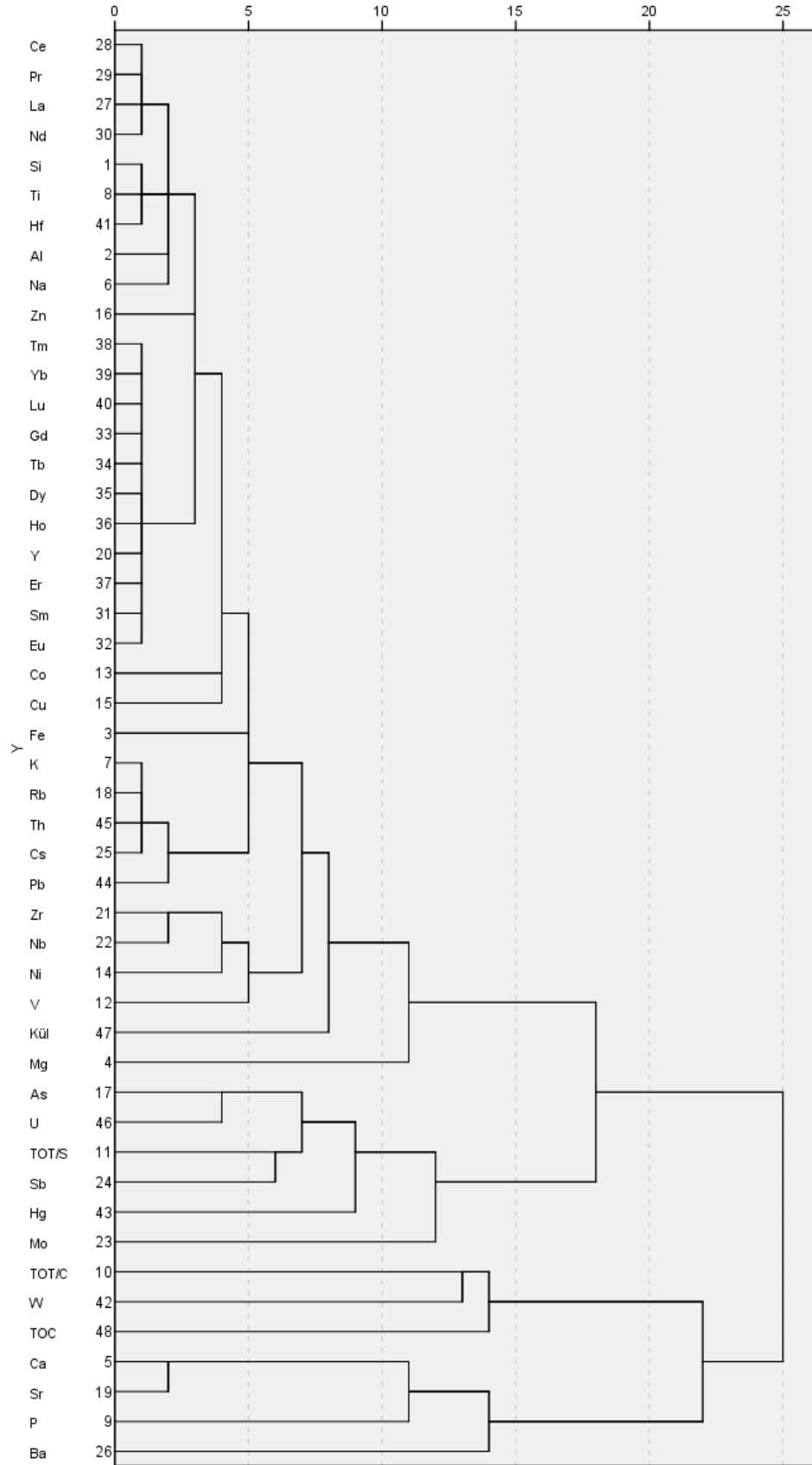


Çizelge 4.14. Şarkikaraağaç kömürlerinin iz element korelasyon matris değerleri

V	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Hg	Pb	Th	U	TOT S	Kül	TOC	
V	1	.806**	.800**	.794**	.707**	.646**	-.416*	.741**	.818**	.873**	.417*	0,062	-.506**	0,017	.648**	.616**	.712**	.711**	.673**	.789**	.737**	.748**	.743**	.739**	.758**	.734**	.745**	.769**	.774**	-.0314	0,102	.515**	.531**	.534**	0,256	.720**	-.631**	
	Co	1	.679**	.829**	.840**	.390*	.778**	-.462*	.838**	.794**	.843**	0,238	0,22	.621**	0,116	.740**	.711**	.781**	.780**	.801**	.833**	.825**	.822**	.817**	.826**	.835**	.848**	.850**	.840**	.815**	-.494**	0,283	.640**	.671**	.435*	0,349	.714**	-.556**
		Ni	1	.620**	.470**	0,262	.485**	-.0147	.558**	.721**	.661**	0,253	-.0125	0,309	0,17	.569**	.536**	.615**	.584**	.540**	.636**	.556**	.578**	.549**	.559**	.561**	.553**	.541**	.553**	.667**	-.062	0,045	0,355	-.373*	0,246	0,034	.511**	-.499**
			Cu	1	.806**	.444*	.822**	-.602**	.887**	.746**	.797**	0,285	0,257	.639**	0,015	.813**	.801**	.852**	.856**	.843**	.892**	.872**	.876**	.869**	.867**	.883**	.897**	.884**	.900**	.806**	-.524**	.429*	.689**	.745**	.498**	0,337	.737**	-.571**
				Zn	1	0,333	.827**	-.615**	.825**	.732**	.833**	0,071	0,301	.704**	0,03	.802**	.788**	.818**	.821**	.852**	.842**	.847**	.846**	.829**	.816**	.834**	.845**	.850**	.855**	.775**	-.504**	0,302	.719**	.766**	.410*	.441*	.728**	-.417**
					As	1	.593**	-.0173	.460*	.381*	0,352	.462*	.739**	.544**	0,272	.428*	.421*	.445*	.438*	.440*	.413*	.444*	.440*	.425*	.437*	.437*	.457*	.422*	.445*	0,295	-.0202	.467**	.690**	.612**	.663**	.498**	.552**	-.0272
						Rb	1	-.491**	.877**	.802**	.788**	0,161	.526**	.908**	0,33	.912**	.909**	.925**	.919**	.916**	.877**	.892**	.880**	.875**	.864**	.884**	.897**	.881**	.897**	.852**	-.555**	.574**	.919**	.962**	.578**	.426*	.699**	-.476**
							Sr	1	-.416*	-.0267	-.486**	-.026	-.472**	-.469**	0,318	-.391*	-.388*	-.414*	-.398*	-.459*	-.480**	-.459*	-.463**	-.442*	-.432*	-.471**	-.470**	-.469**	-.502**	-.370*	0,347	-.436*	-.502**	-.488**	-.388*	-.707**	-.429**	0,257
								Y	1	.783**	.785**	0,176	0,246	.692**	0,227	.889**	.887**	.920**	.935**	.939**	.970**	.980**	.979**	.987**	.988**	.988**	.980**	.985**	.966**	.854**	-.606**	0,338	.717**	.822**	.548**	0,241	.750**	-.578**
									Zr	1	.923**	0,225	0,216	.697**	0,236	.841**	.820**	.862**	.853**	.813**	.809**	.813**	.790**	.783**	.775**	.779**	.780**	.780**	.804**	.933**	-.369*	0,198	.685**	.746**	.422*	0,165	.669**	-.663**
										Nb	1	0,278	0,268	.685**	0,063	.779**	.760**	.817**	.814**	.803**	.822**	.814**	.801**	.785**	.778**	.794**	.788**	.793**	.826**	.882**	-.377*	0,177	.678**	.719**	.489**	0,329	.702**	-.609**
											Mo	1	.386*	0,144	-.0281	0,013	-.0022	0,068	0,061	0,065	0,155	0,152	0,151	0,151	0,152	0,188	0,143	0,158	0,189	0,108	-.0057	0,2	0,169	0,102	.652**	.419*	.393*	-.0325
												Sb	1	.622**	0,137	0,29	0,291	0,286	0,275	0,315	0,221	0,29	0,249	0,237	0,232	0,255	0,265	0,249	0,276	0,177	-.0276	.627**	.696**	.593**	.623**	.775**	0,31	-.085
													Cs	1	.400*	.773**	.765**	.773**	.761**	.771**	.703**	.740**	.707**	.704**	.689**	.719**	.721**	.721**	.750**	.704**	-.425*	.628**	.949**	.917**	.591**	.486**	.544**	-.0336
														Ba	1	0,318	0,32	0,297	0,306	0,228	0,23	0,215	0,232	0,242	0,262	0,224	0,202	0,235	0,195	0,228	-.021	0,214	0,327	0,339	0,037	-.0168	0,021	0,012
															La	1	.996**	.991**	.987**	.962**	.913**	.924**	.913**	.896**	.886**	.887**	.897**	.873**	.887**	.908**	-.441*	.392*	.794**	.885**	.408*	0,192	.639**	-.566**
																Ce	1	.988**	.984**	.960**	.910**	.921**	.908**	.892**	.884**	.883**	.892**	.867**	.878**	.898**	-.453*	.393*	.789**	.885**	.388*	0,178	.621**	-.550**
																	Pr	1	.994**	.972**	.947**	.948**	.939**	.920**	.911**	.917**	.926**	.904**	.915**	.928**	-.469**	.394*	.797**	.885**	.452*	0,215	.669**	-.602**
																		Nd	1	.973**	.956**	.959**	.953**	.938**	.931**	.930**	.934**	.915**	.925**	.917**	-.502**	.381*	.775**	.874**	.453*	0,201	.676**	-.585**
																			Sm	1	.955**	.969**	.965**	.941**	.935**	.946**	.957**	.931**	.938**	.889**	-.483**	.396*	.793**	.885**	.482**	0,282	.663**	-.532**
																				Eu	1	.980**	.987**	.969**	.970**	.972**	.963**	.957**	.952**	.869**	-.551**	0,347	.717**	.816**	.503**	0,26	.738**	-.571**
																					Gd	1	.986**	.978**	.972**	.976**	.966**	.961**	.955**	.871**	-.535**	.364*	.764**	.860**	.550**	0,259	.741**	-.565**
																						Tb	1	.988**	.986**	.985**	.980**	.972**	.971**	.861**	-.554**	0,351	.720**	.832**	.533**	0,26	.725**	-.566**
																						Dy	1	.995**	.989**	.981**	.981**	.980**	.855**	-.588**	0,349	.711**	.829**	.548**	0,243	.739**	-.572**	
																							Ho	1	.989**	.976**	.981**	.970**	.843**	-.592**	0,327	.694**	.810**	.525**	0,243	.728**	-.565**	
																							Er	1	.984**	.991**	.977**	.859**	-.587**	0,348	.730**	.825**	.579**	0,279	.739**	-.559**		
																								Tm	1	.982**	.987**	.864**	-.597**	.396*	.744**	.844**	.545**	0,291	.731**	-.578**		
																									Yb	1	.982**	.861**	-.643**	0,35	.726**	.821**	.547**	0,285	.731**	-.574**		
																										Lu	1	.870**	-.579**	.405*	.754**	.848**	.564**	0,315	.750**	-.589**		
																												Hf	1	-.446*	0,295	.693**	.791**	.402*	0,156	.614**	-.704**	
																														W	1	-.0342	-.378*	-.484**	-.0285	-.0277	-.418*	0,293
																															Hg	1	.628**	.595**	.424*	.515**	0,229	-.042
																																Pb	1	.950**	.643**	.527**	.626**	-.0354
																																Th	1	.571**	.406*	.666**	-.449**	
																																U	1	.544**	.579**	-.364*		
																																	TOT S	1	.362*	-.0115		
																																		Kül	1	-.590**		
																																			TOC	1		

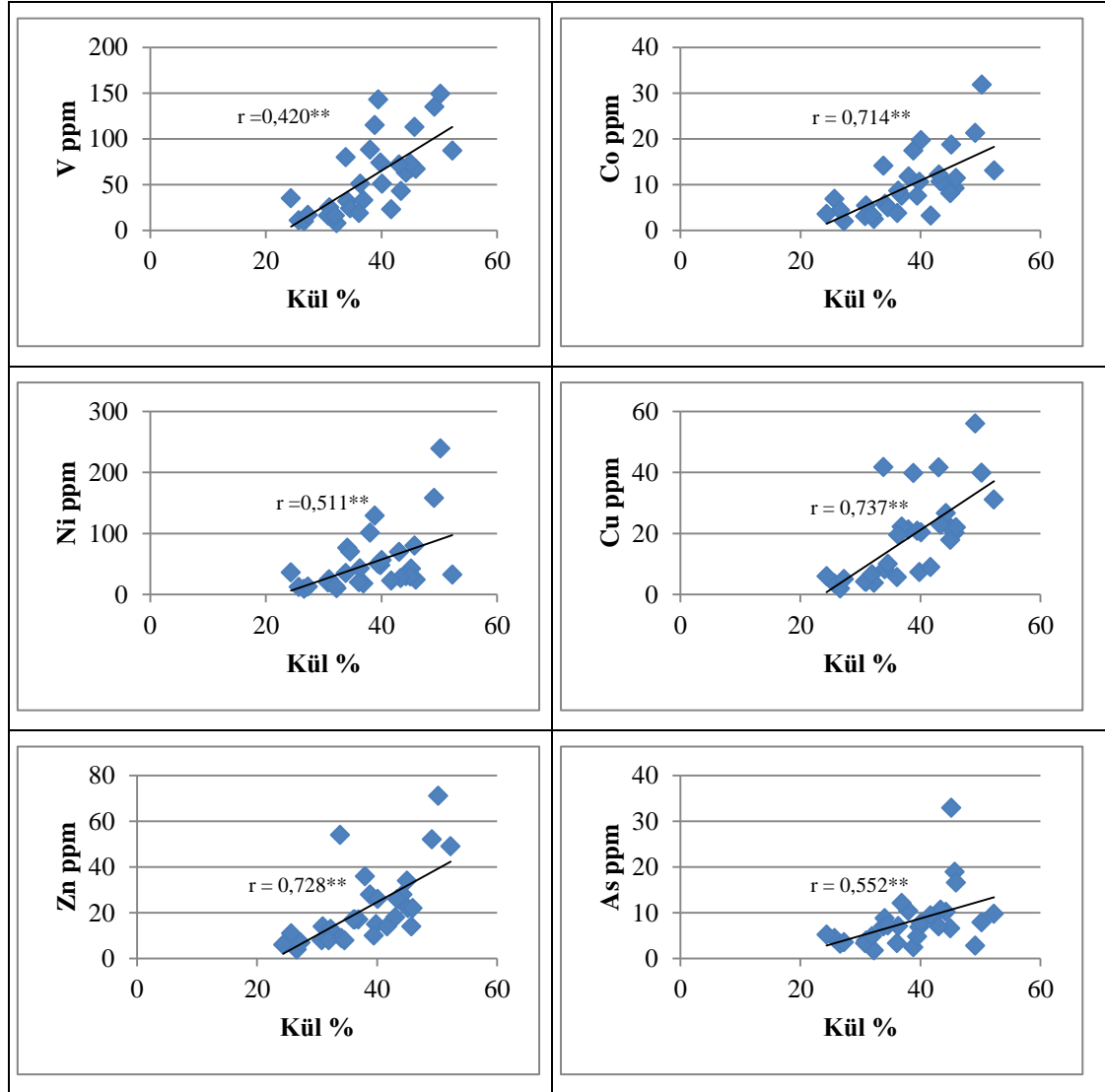
\* Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır

\*\* Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır

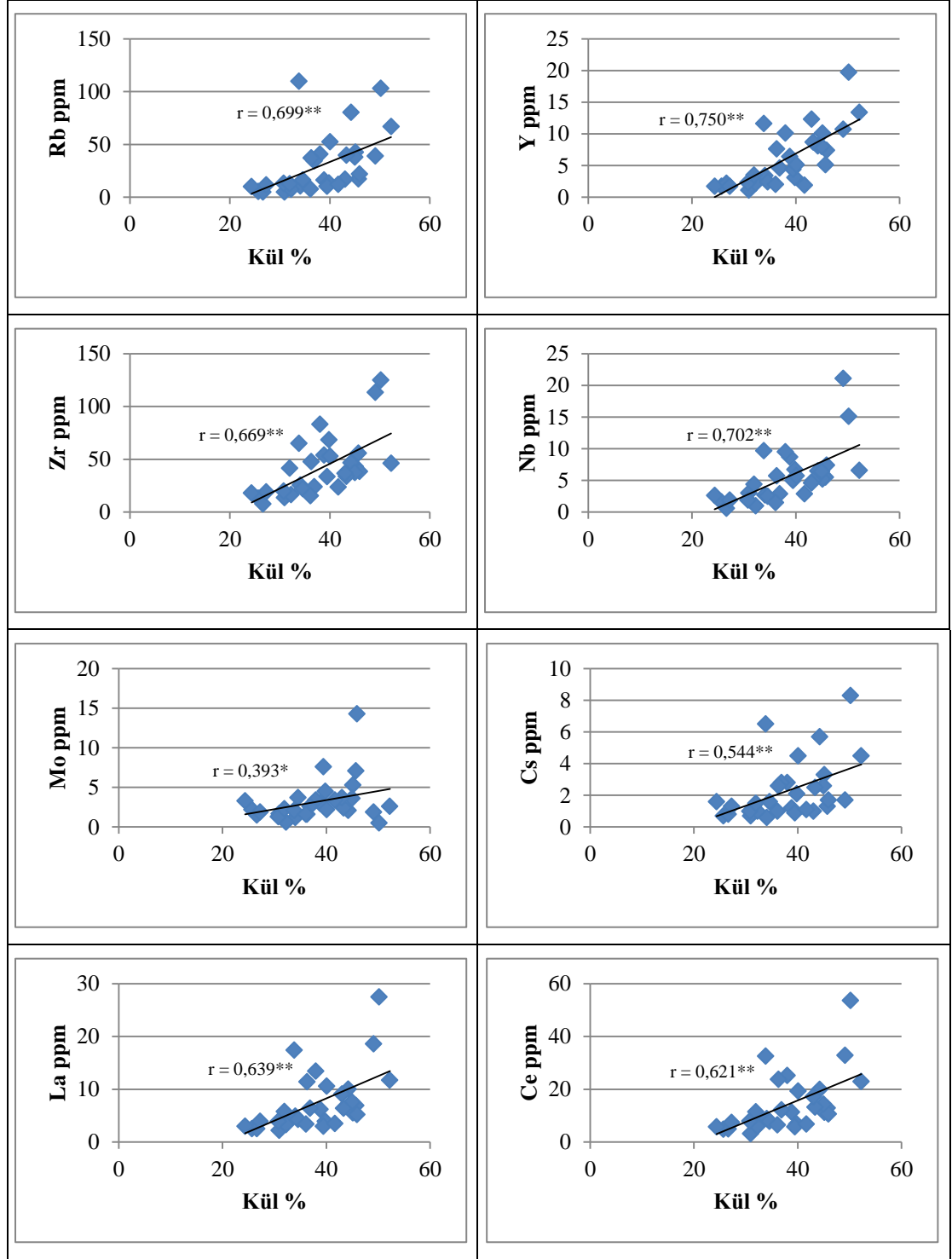


Şekil 4.39. Şarkikaraağaç kömürlerinin cluster analizine ait dendrogram gösterimi

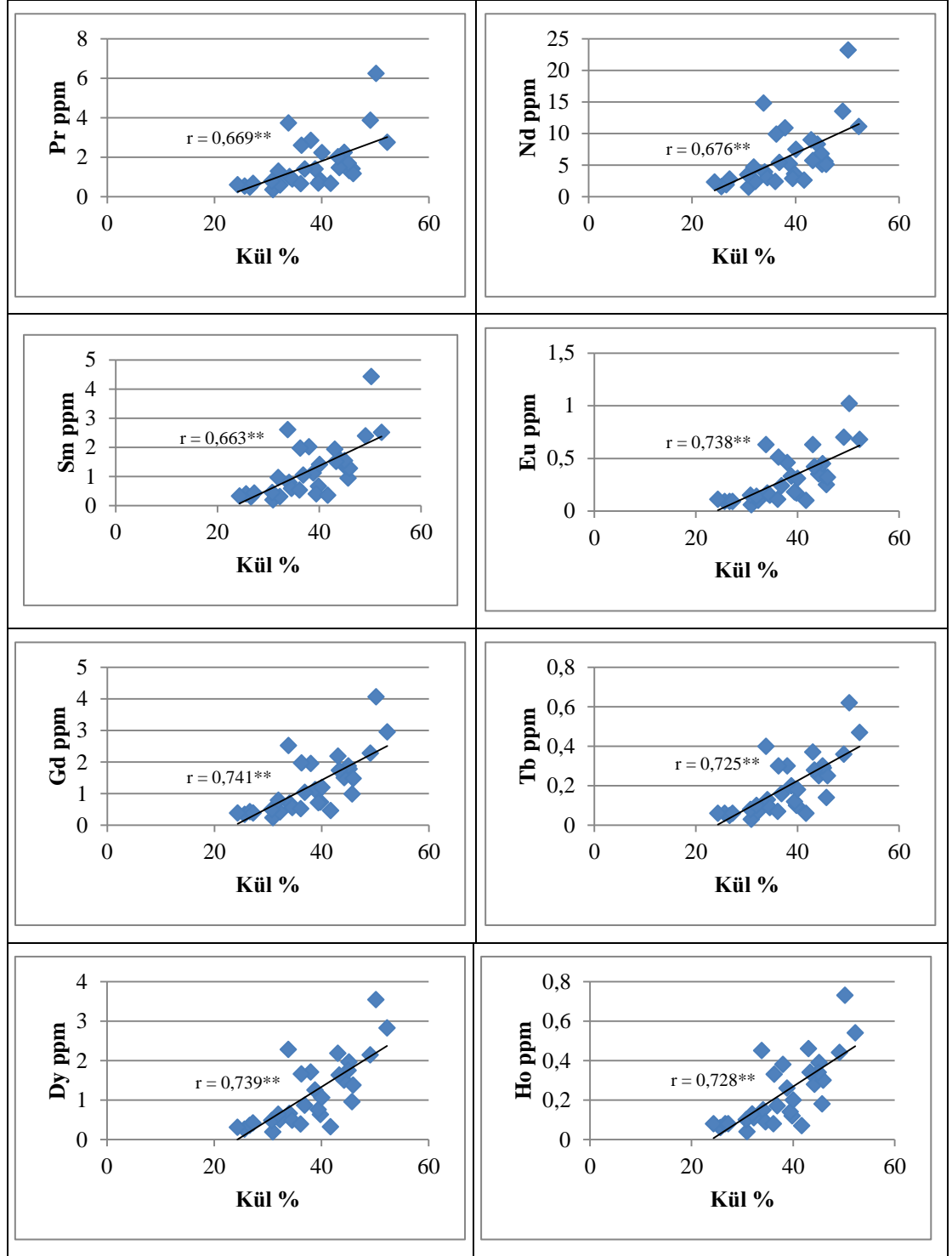
Kül ile V, Co, Cu, Zn, Y, Nb, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ni, As, Rb, Zr, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Hf, Pb, Th, U, Mo ve toplam kükürt pozitif korelasyon göstermektedir (Şekil 4.40). Sr ve W ile negatif korelasyon sunan kül ile Sb, Ba ve Hg arasında anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Toplam kükürtün elementlerle ilişkisi irdelendiğinde Sb, Hg, Pb, U, Zn, As, Rb, Mo, Cs, Th ile pozitif korelasyon gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.41). Tüm elementler arasında ise sadece Sr ile negatif korelasyon ilişkisi vardır. V, Co, Ni, Cu, Y, Zr, Nb, Ba, , La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W ile toplam kükürt arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir.



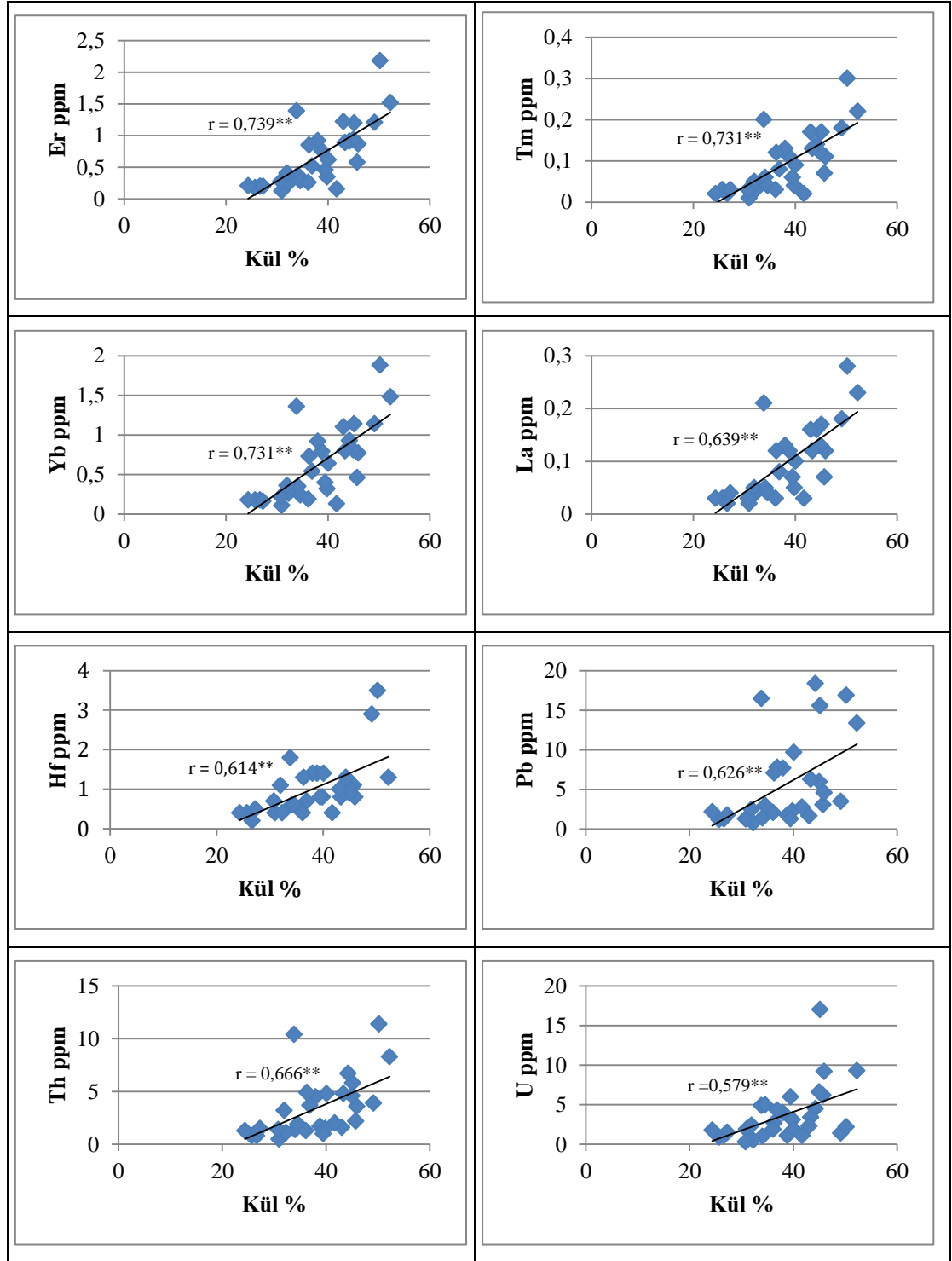
Şekil 4.40. Kül-iz element ilişkisi



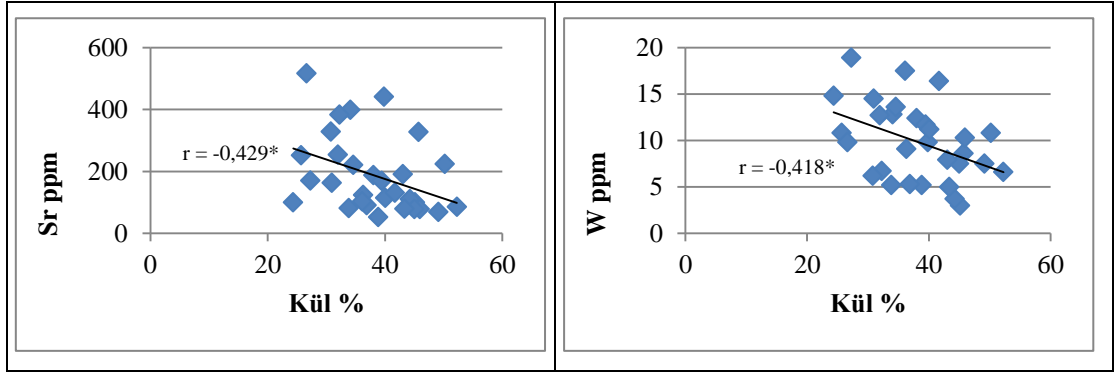
Şekil 4.40'ın devamı



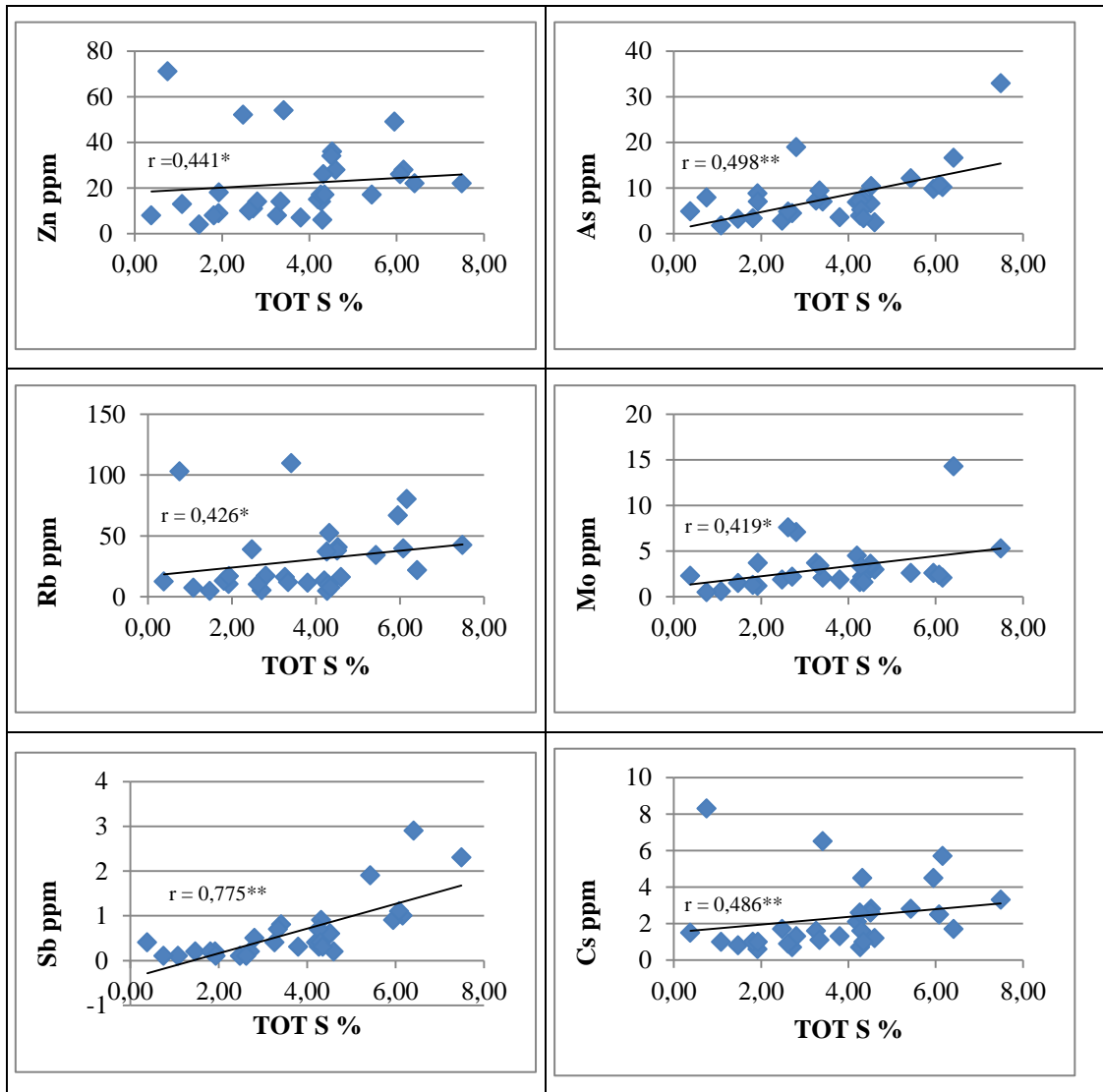
Şekil 4.40'ın devamı



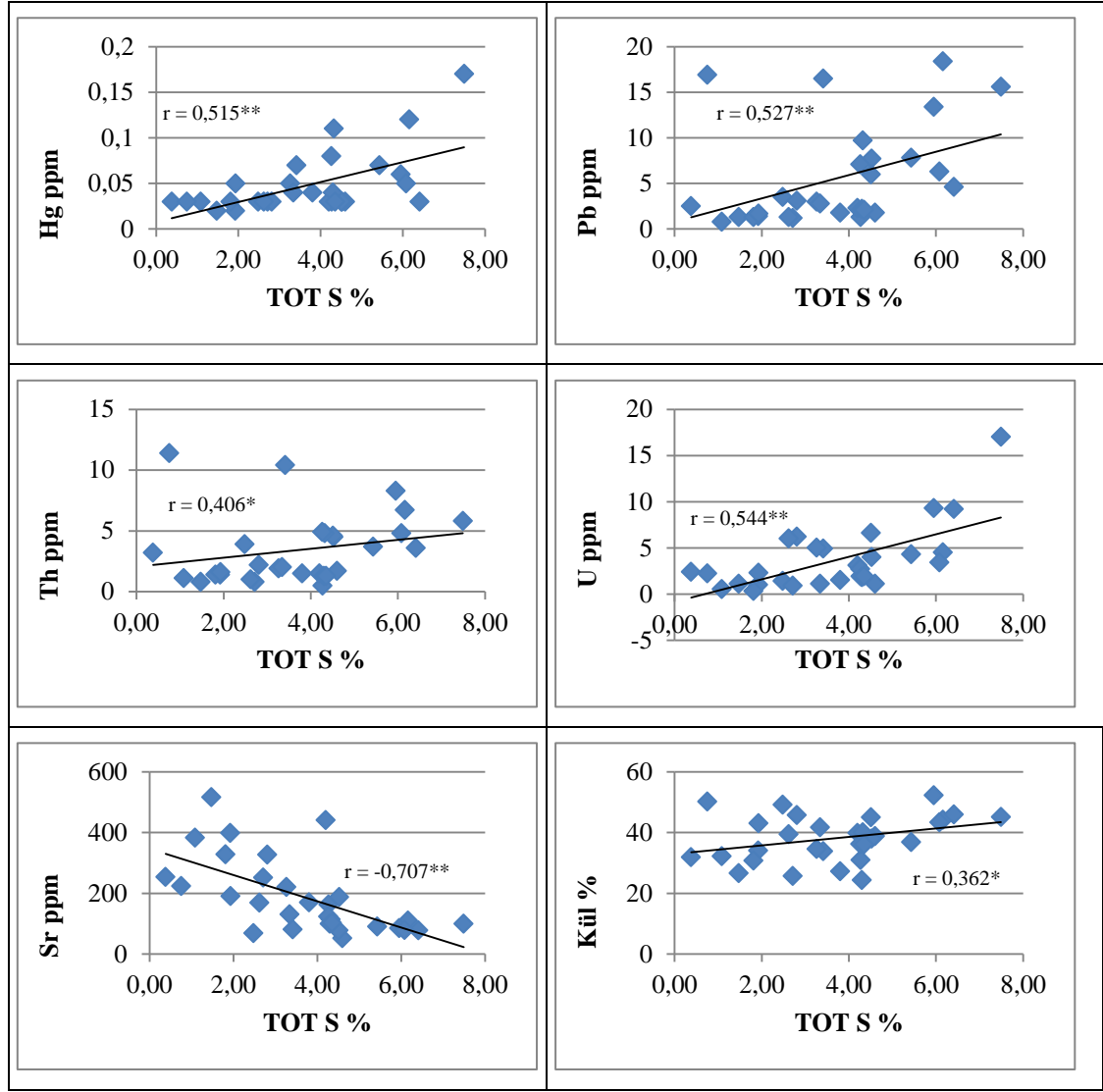
Şekil 4.40'ın devamı



Şekil 4.40'ın devamı



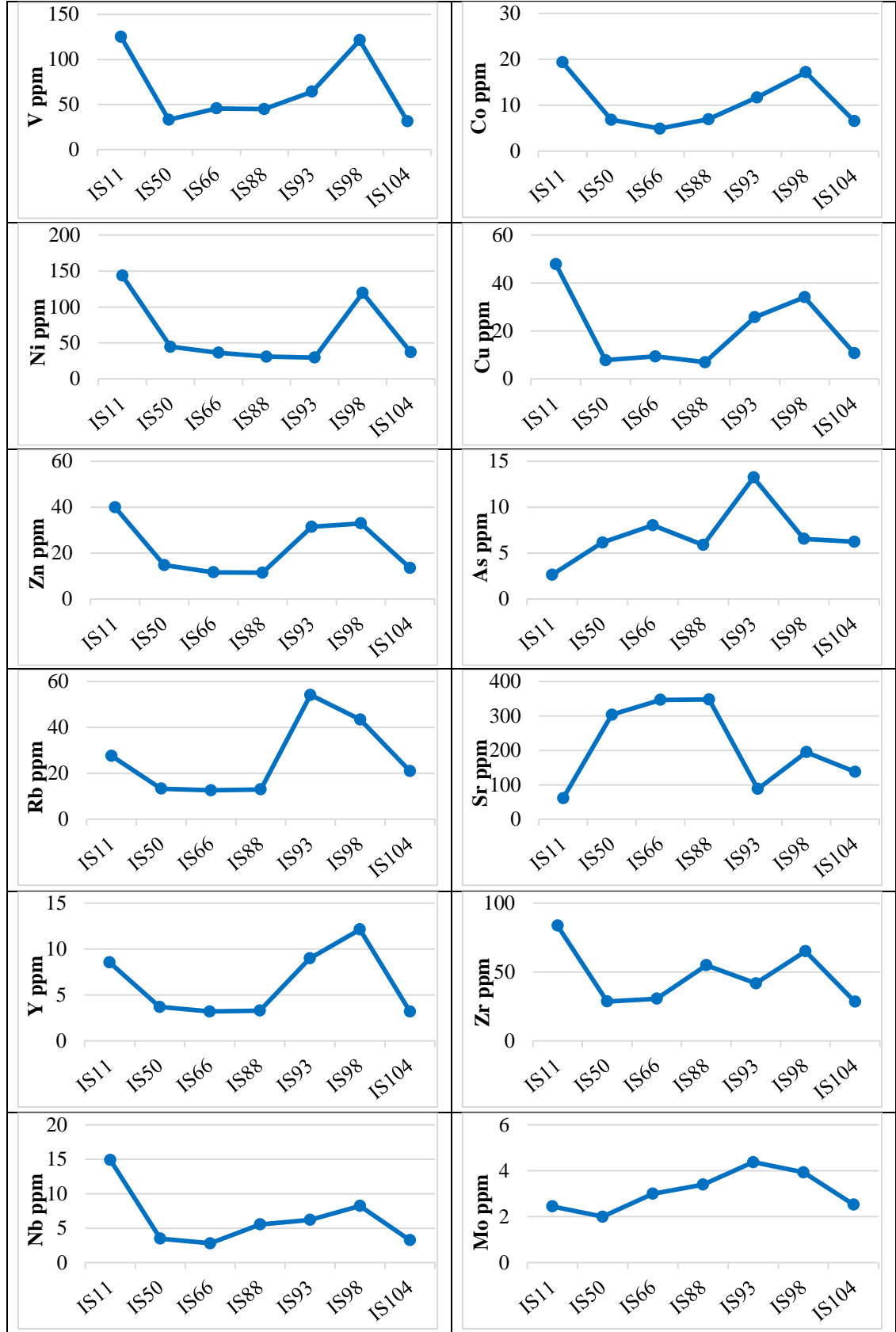
Şekil 4.41. Toplam kükürt-iz element ve toplam kükürt-kül ilişkisi



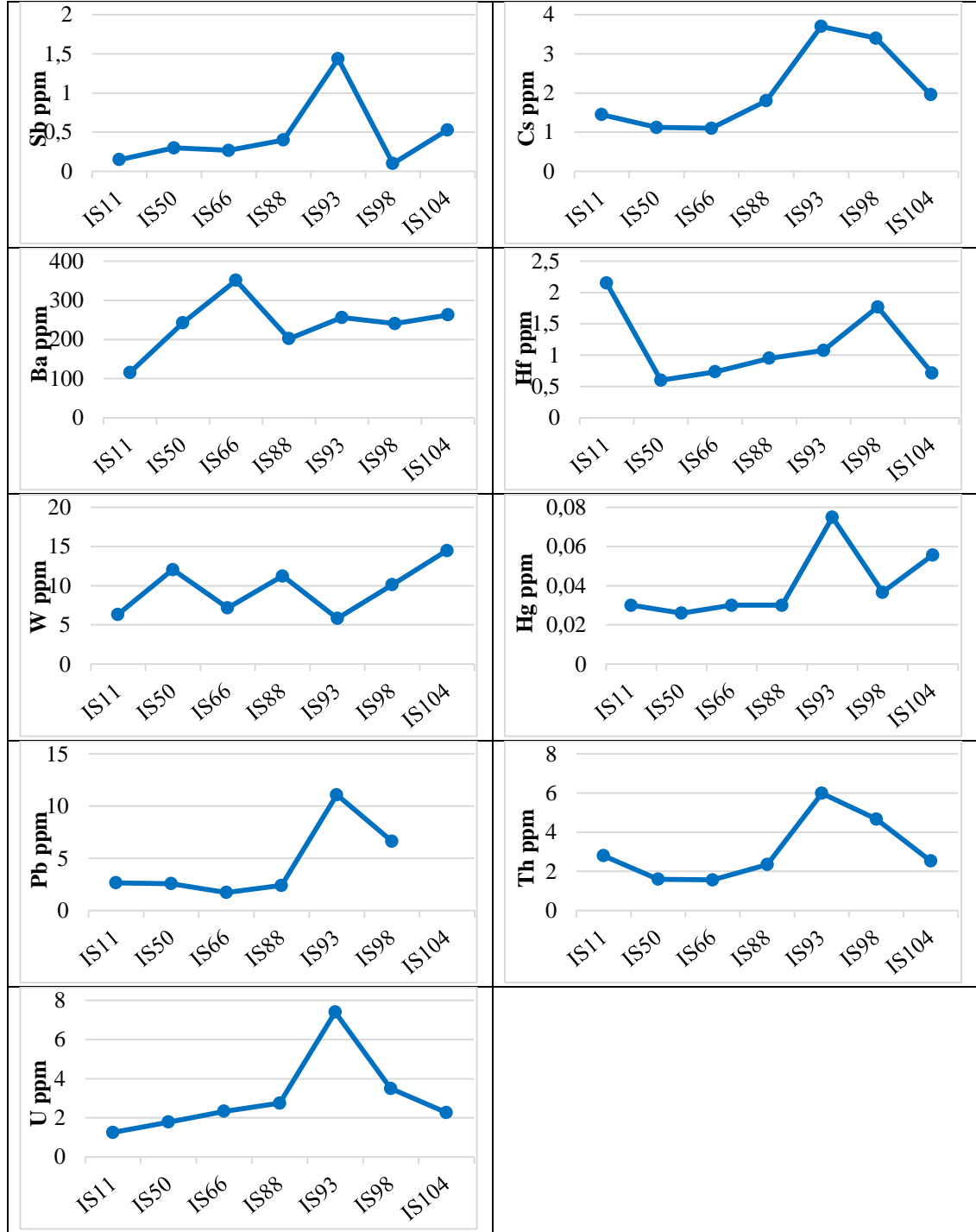
Şekil 4.41'in devamı

V elementinin, yapılan analiz sonucunda Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Pr, Nd, Eu, Gd, Tb, Dy, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Rb, Cs, La, Ce, Sm, Pb, Th, U ile pozitif korelasyon, Sr ve TOC ile negatif korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. As, Sb, Ba, W, Hg ve toplam kükürt ile bir ilişki saptanamamıştır. Miyosen yaşlı linyitlerde V konsantrasyonu kil ve organik maddeyle ilişkilendirilmektedir (Querol vd. 1996; Finkelman ve Gross 1999; Goodarzi 2002). Kil minerallerinden ise özellikle illit mineralinde gözlemlendiği belirtilmiştir (Finkelman 1980). V ortalaması çalışma alanında 58,03 ppm olarak hesaplanmış olup, özellikle karbonatça zengin ortalama sunan kuyularda oldukça düşükken, detritik minerallerin göreceli olarak yüksek olduğu kuyularda yüksektir (Şekil 4.42). Kül ile sunduğu pozitif ve TOC ile sunduğu negatif korelasyon ilişkisi de değerlendirildiğinde V'un organik maddeden ziyade kil mineralleriyle ilişkili olduğu tahmin edilmektedir.





Şekil 4.42. Kuyulara göre iz element ortalamaları

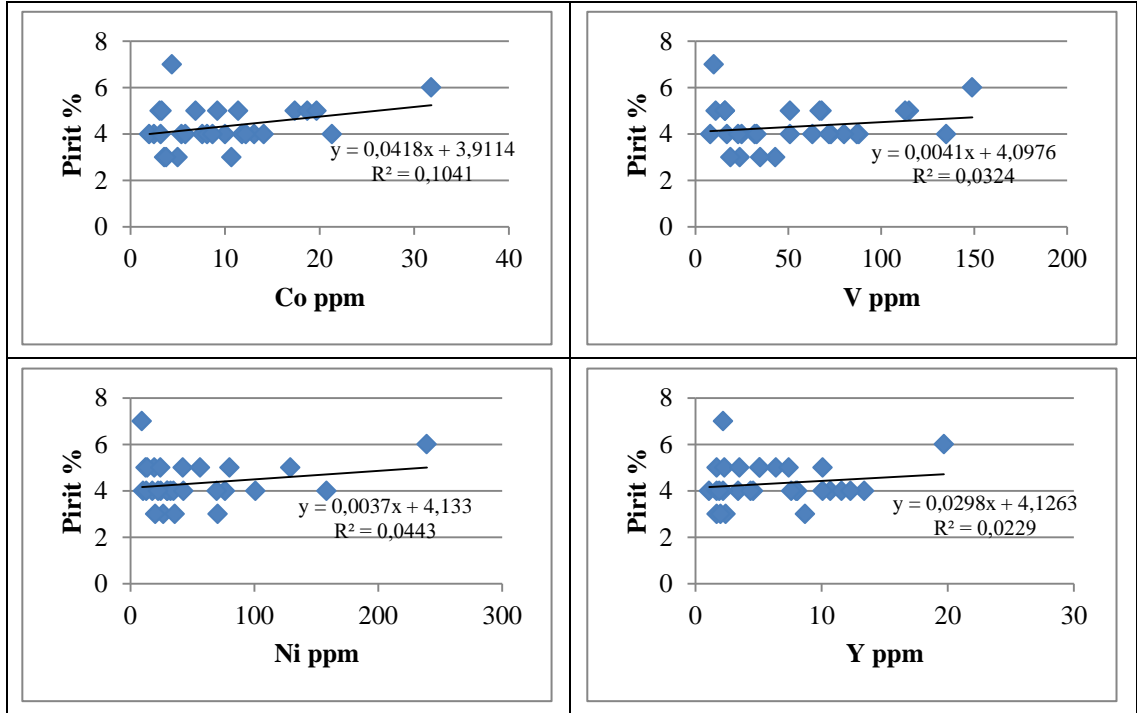


Şekil 4.42'nin devamı

Çalışma alanındaki kömürlerde 9,77 ppm ortalama sunan Co, V gibi detritik fraksiyonun nispeten yüksek olduğu IS11 ve IS93 numaralı kuyularda en yüksek değerlerini sunmuştur. Korelasyon matrisine bakıldığında Co'nun V, Ni, Cu, Rb, Y, Zr, Nb, NTE, Hf, Cs, Pb, Th, As ve U ile pozitif korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Sr, W ve TOC ile negatif korelasyon ilişkisi bulunurken, Mo, Sb, Ba, Hg ve toplam kükürt ile anlamlı bir ilişki saptanamamıştır. Co'nun kömürlerde mineral madde (kil, pirit, linnait, diğer sülfidler) ve organik maddeyle ilişkisi belirtilmiştir (Gluskoter vd. 1977;

Finkelman 1980; Swaine 1990). Kül ile yaptığı yüksek pozitif korelasyon Co'nun inorganik birliktelik gösterdiğine işaret etmektedir. V ve Co'nun toplam kükürt ile anlamlı bir ilişkisi tespit edilememiştir. Ancak örneklerin pirit değerleriyle karşılaştırıldığında az da olsa pozitif bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 4.43). Bu durum V ve Co'nun esas olarak killerden kaynaklandığını, az da olsa pirit ile birlikteliklerinin de olduğunu düşündürmektedir.

Ni sahadaki en düşük değerlerini IS93 numaralı kuyuda en yüksek değerlerini ise Si bakımından en zengin olan kuyular olan IS11 ve IS98 numaralı kuyularda göstermiştir. Çalışma alanında belirlenen ortalama Ni miktarı 51,36 ppm'dir. V ve Zr ile yüksek pozitif korelasyon gösteren Ni, Co, Cu, Nb, NTE, Hf, Zn, Rb, Th ile pozitif korelasyon göstermektedir. TOC ile olan korelasyon ilişkisi negatifken, As, Sr, Mo, Sb, Cs, Ba, W, Hg, Pb, U ve toplam kükürt ile arasında bir ilişki belirlenmemiştir. Ni, içeriği indirgen sülfidik ortamlarda oksik ortamlara nazaran daha yüksektir. Bununla birlikte Ni tüm organizmalar içerisinde eser miktarda bulunmaktadır (Yavuz Pehlivanlı 2011). Kömürlerde Ni, organik ve inorganik, çoğunlukla da sülfidlerle ilgili olarak bulunmaktadır (Swaine 1990, 1995). Kül ile orta pozitif korelasyon göstermesinden dolayı Ni'nin büyük ölçüde inorganik kökene ait olduğu kabul edilmiştir. V ve Co gibi, toplam kükürt miktarı ile anlamlı bir ilişki oluşturulmasına karşın, pirit ile düşük de olsa pozitif yönde sergilediği ilişki bir kısım Ni'nin piritlerden kaynaklandığını göstermektedir. Ni'nin büyük çoğunluğu ise kil mineralleri ve karbonatlarla ilişkilidir.



Şekil 4.43. Co, V, Ni, Cu, Y ile pirit ilişkisi

Cu çalışma alanına ait kömür örneklerinde ortalama 18,70 ppm olarak bulunmaktadır. Detritik kökenli kabul edilen elementlerin göreceli olarak yüksek oranlarda bulunduğu IS11 ve IS98 numaralı kuyularda en yüksek konsantrasyonlarını sunmuştur. V, Co, Rb, Y, Zr, Nb, NTE, Hf, Th, Ni, Cs, Pb, As, Hg ve U ile pozitif korelasyon göstermektedir. Sr, W ve TOC ile negatif korelasyon sunar. Mo, Sb, Ba ve toplam kükürt ile anlamlı korelasyon tespit edilememiştir. Düşük ranklı kömürlerde Cu'nun sülfitlerle ve çoğunlukla pirit, kalkopirit ve organik maddeyle ilişkili olarak bulunduğu belirtilmiştir (Quarol vd. 1998; Swaine 1990; Goodarzi 2002). Ancak çalışma alanında Cu ile TOC arasında negatif korelasyon saptanmıştır. Ayrıca kül ile sunmuş olduğu yüksek pozitif korelasyon Cu'nun kaynağının büyük kısmının inorganik olduğunu düşündürmektedir. Pirit ile de bir ilişki tespit edilememesi ve detritik minerallerce zengin olan seviyelerde yüksek değerler sunması nedeniyle kil mineralleri ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

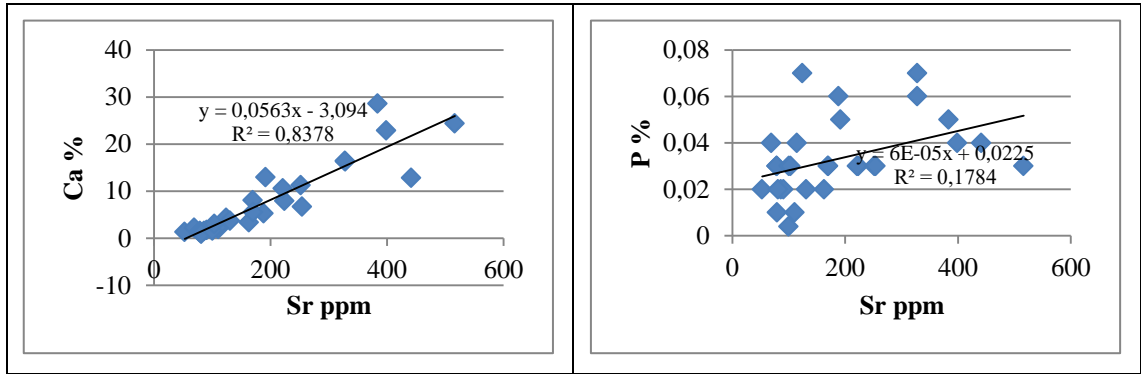
Çalışma alanında ortalama 21,93 ppm değer sunan Zn elementi V, Co, Ni ve Cu gibi IS11 ve IS98 numaralı kuyularda en yüksek konsantrasyonlara sahiptir. V, Co, Cu, Rb, Y, Zr, Nb, Cs, NTE, Hf, Pb, Th, Ni, U ve toplam kükürt ile pozitif korelasyon vermektedir. As, Mo, Sb, Ba ve Hg ile anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Çinkonun kömürde sülfid mineralleri (pirit), sfalerit, karbonatlar ve nadiren killerle birlikte olduğu düşünülmektedir (Karayiğit vd. 2000a; Goodarzi 2002). Düşük ranklı kömürlerde ise organik madde ile birlikteliği de belirtilmiştir (Finkelman 1995; Kara-Gulbay ve Korkmaz 2009) ancak TOC ile negatif korelasyon göstermektedir ve kül ile pozitif bir ilişki sunmaktadır. Bu veriler Zn'nun inorganik kökenli olduğunu düşündürmektedir. Toplam kükürt ile düşük düzeyde de olsa pozitif korelasyonu, Zn'nun bir kısmının piritten kaynaklandığını gösterir. Her ne kadar kil ile birlikteliği nadir de olsa, bu sahada karbonatlı seviyelerden ziyade, kırıntılı seviyelerde nispeten yüksek değerler sunması, killerle ilişkili olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

As ortalaması çalışma alanı bazında 8,04 ppm olarak hesaplanmıştır. Sb, Rb, Pb, Th, U, Co, Cu, Y, Zr, Cs, NTE, Hg, ve toplam kükürt ile pozitif korelasyon sergiler. V, Ni, Zn, Sr, Nb, Ba, Hf, W ve TOC ile arasında anlamlı bir ilişki belirlenememiş olup, negatif korelasyon gösterdiği bir değer de saptanamamıştır. As genellikle mineral madde ile birliktelik gösterir (Ward vd. 1999; Dale vd. 1999; Kolker vd. 2000). Kömürlerde daha çok piritle ilişkili olarak bulunmakta ve düşük miktarda da organik yapıda görülmektedir (Finkelman 1994a). Pirit dışında, arsenopirit gibi farklı formlarda da bulunabilmektedir (Finkelman 1994a; Ward 2002; Dai vd. 2005; Yudovich ve Ketris 2005; Karayiğit 2003). Kil mineralleri ve fosfatlarla da birlikteliği belirtilmiştir (Swaine 1990). İncelenen kömür örneklerinde kül ile pozitif korelasyon göstermekte olup inorganik madde ile ilişkilendirilmiştir. Toplam kükürt ile düşük düzeydeki korelasyon ilişkisi As'in az oranlarda pirit ile birlikteliğini ifade eder. Arsenopirite XRD analizlerinde rastlanılmamıştır. Sahadaki örneklerde izlenen As kaynağının büyük oranda kil mineralleri olduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanına ait örneklerde 29,87 ppm ortalama sunan Rb en yüksek değerlerini IS93 numaralı kuyuda, en düşük değerlerini ise IS66 numaralı kuyuda vermiştir. Cs, Pb, Th, NTE, Co, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Hf, V, As, Sb, Hg, U, Ni ve toplam kükürt ile pozitif korelasyon sergilemiştir. Mo ve Ba ile anlamlı bir korelasyon ilişkisi elde edilememiştir. Sr, W ve TOC ile negatif korelasyon göstermiştir. Rb kömürde kil mineralleriyle ilişkilidir (Palmer ve Filby 1984). Finkelman 1980, illit ve karışık

tabakalı killere ile Rb'nin birlikteğini belirtmiştir. XRD analizleri ile birlikte değerlendirildiğinde, Rb'un bu çalışmada da killere ilgili olduğu belirlenmiştir.

Sr, karbonat oranının diğer kuyulara nazaran yüksek olduğu IS50, IS66, IS88 ve IS98 numaralı kuyularda oldukça yüksek değerler sunmaktadır. Çalışma alanı genelinde ise ortalama 187,57 ppm değeri hesaplanmıştır. Ni, As, Zr, Mo, Ba, W ve TOC ile anlamlı korelasyon ilişkisi belirlenemeyen Sr ile hiçbir iz element ile pozitif korelasyon ilişkisine sahip değildir. Öte yandan, V, Co, Cu, Zn, Rb, Y, Nb, Sb, Cs, NTE, Hf, Hg, Pb, Th, U ve toplam kükürt ile negatif ilişki tespit edilmiştir. Sr kömürde karbonatlar, sülfatlar, fosfat mineralleriyle birliktelik sunar (Swaine 1990; Karayiğit vd. 2000c). Düşük miktarlarda organik maddeyle ilişkisi de belirtilmiştir (Finkelman 1994a). TOC ile anlamlı bir ilişki belirlenmemesine karşın, kül ile negatif korelasyon ilişkisi bir miktar Sr'un organik maddeyle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Toplam kükürt ile negatif ilişkisi sülfatlarla birliktelik ihtimalini zayıflatmaktadır. Oysaki Mg ile belirgin bir ilişki göstermemesine karşın P ve özellikle de Ca ile pozitif yönde bir ilişki sergilediği belirlenmiştir (Şekil 4.44). Cluster analizinde de Ca ile Sr'un yakın ilişkisi belirlenmiştir. Bu durum Sr'un çalışma alanında fosfatlarla ve büyük çoğunlukla da kalsitle ilgili olduğunu göstermektedir. XRD analizlerinde de Sr'un yüksek olduğu seviyelerde karbonatça zenginlik dikkat çekmektedir. Bir miktar Sr'un ise organik maddeyle ilişkili olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 4.44.** Sr ile Ca ve P ilişkisi

Çalışma alanı genelinde 6,08 ppm ortalama sunan Y; V, Co, Cu, Zn, Rb, Zr, Nb, NTE, Hf, Pb, Th, Ni, Cs, U ve As ile pozitif korelasyon göstermektedir. Mo, Sb, Ba ve toplam kükürt ile anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Sr, W ve TOC ile negatif korelasyon ilişkisine sahiptir. Y elementi için, Ershov (1961) organometaliklerle, Given and Miller (1987) organik maddeyle, Ratynskii and Glushnev (1967) çoğunlukla organik, kısmen inorganik, Finkelman (1980) ise büyük çoğunlukla mineral maddeyle birliktelikten söz etmiştir (Swain 1990). Kül ile yaptığı pozitif korelasyon da inorganik birlikteliği desteklemektedir. Ancak TOC ile negatif ilişki sergilemesi nedeniyle organik birliktelik ihtimali oldukça düşük kabul edilmektedir. Toplam karbon ile anlamlı bir ilişki kurulamamakla birlikte pirit ile düşük düzeyde de olsa pozitif ilişki sergilemiştir. Ancak Si, Al, Fe, Ti gibi detritik minerallerle ilişkilendirilen elementlerin göreceli olarak yüksek olduğu seviyelerde Y'un da benzer eğilim gösterdiği saptanmıştır. Bu durum çalışma alanındaki Y elementinin büyük çoğunlukla killere kaynaklandığını ortaya koymaktadır.

Zr çalışma alanında 41,38 ppm ortalama sunmaktadır ve IS11 ile IS98 numaralı kuyularda en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. V, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Y, NTE, Th, Cs, As ve U ile pozitif korelasyon gösterirken Sr, W ve TOC ile negatif korelasyon ilişkisindedir. Mo, Sb, Ba, Hg ve toplam kükürt ile anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Zr, silikat minerali olan zirkondan kaynaklanır ve değişik bileşikler halinde bulunabilir. Zr içerisinde her zaman belli miktarda Hf elementi bulunmaktadır (Finkelman 1980). Bu çalışmada da Zr ile Hf'nin çok yüksek pozitif korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Zr'nin bir başka çok yüksek pozitif korelasyon gösterdiği element ise Nb'dur. Dendogramda da bu ilişki açıkça görülmektedir. Hf ve Nb elementlerinin her ikisi de depolanma ortamına detritik malzeme girişi için gösterge olarak kabul edilmektedir. Kül ile göstermiş olduğu pozitif korelasyon da göz önüne alındığında Zr elementinin inorganik kökenli olduğu ve detritik minerallerle ortama geldiği belirlenmiştir.

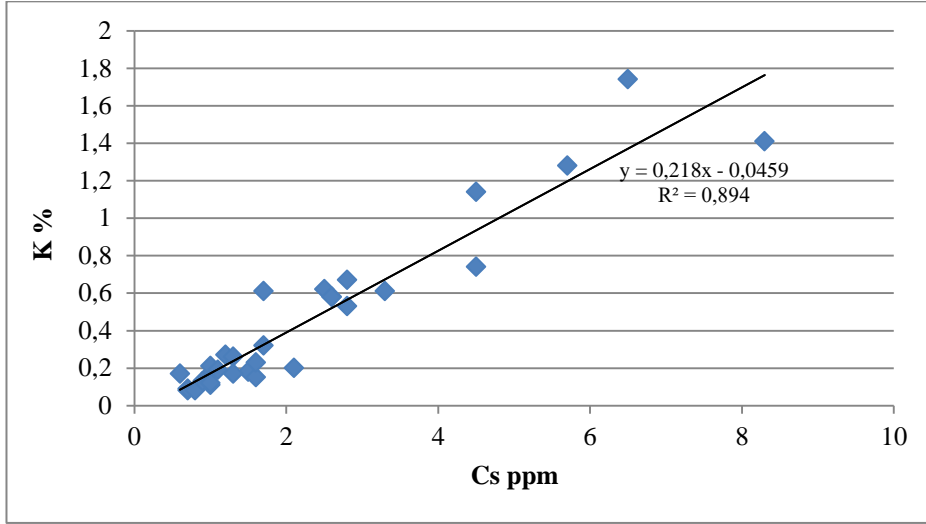
Nb, IS11 ve IS98 numaralı kuyularda en yüksek değerlerini vermiştir ve çalışma alanında ortalama değer 5,46 ppm'dir. V, Co, Cu, Zn, Rb, Y, NTE, Hf, Th, Zr, Ni, Cs, Pb ve U'la pozitif korelasyon belirlenmiştir. As, Mo, Sb, Ba, Hg ve toplam kükürtle bir ilişki saptanamamıştır. Sr, W, TOC ise Nb'la negatif ilişki sunar. Finkelman (1980) Nb'un rutille birlikteliğinden söz ederken, Swaine (1990) inorganik maddeyle birliktelik belirtmiş, Ratynskii and Glushnev (1967) ise organik maddeyle de ilişkili olabileceğini vurgulamıştır. Kül ile yaptığı yüksek pozitif korelasyon ve TOC ile negatif ilişkisi göz önünde bulundurulduğunda organikten ziyade, inorganik içerikle ilişkili olduğu belirlenmiştir. Kil fraksiyonun yüksek olduğu kuyularda, diğer kuyulara nazaran yüksek değerler göstermesi Nb'un büyük ölçüde killerden kaynaklandığına işaret etmektedir.

Çalışma alanında Mo ortalaması 3,17 olup, hemen her seviyede yüksek değerler sunmuştur. Karşılaştırılan parametrelerin hiçbirisiyle negatif ilişki göstermemesine rağmen, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, NTE, Hf, W, Hg, Ph, Yh ve TOC ile Mo arasında anlamlı bir korelasyon ilişkisi tespit edilememiştir. U, V, As, Sb, toplam kükürt ve kül ile pozitif korelasyon saptanmıştır. Organik karbonca zengin seviyeler yüksek miktarlarda redoksa duyarlı V, Mo, U gibi elementlerce zenginleşirler. Mo'in hem organik hem de inorganik maddelerle kuvvetli ilişkisi vardır (Finkelman 1995; Swaine 1990; Orem ve Finkelman 2003). Su-taban ara yüzeyindeki anoksik koşulların artmasıyla Mo konsantrasyonu da artmaktadır. Mo, organik maddedeki hümitik asitlerle ilgili olduğu kadar sülfürlerle de ilişkilidir. (Yavuz Pehlivanlı 2011). Chou (1984) ve Finkelman (1980), Mo'in piritle ilişkisini belirtmişlerdir. Maseral analizi sonucunda kömür oluşum ortamının büyük ölçüde anoksik olduğu belirlenmiştir. Bu durum yüksek Mo konsantrasyonunu açıklamaktadır. TOC ile bir korelasyon göstermemesi, kül ile düşük düzeyde de olsa pozitif yönlü bir korelasyon sergilemesi Mo'in kökeninin büyük oranda inorganik olduğunu düşündürmektedir. Toplam kükürt ile ilişkisi göz önüne alındığında Mo'in çalışma alanında sülfürlerle birlikteliği söz konusudur.

Sb ortalaması çalışma alanında ortalama 0,63 ppm olarak hesaplanmıştır. Sadece IS93 numaralı kuyuda 1 ppm'in üstünde değer verirken diğer kuyularda düşük düzeylerde seyretmektedir. As, toplam kükürt, Rb, Cs, Hg, Pb, U, Th Rb ve Mo ile pozitif korelasyon sergilerken, Sr ile negatif korelasyon ilişkisine sahiptir. V, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Ba, NTE, Hf, W ile anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Sb'nin kömürlerde süflitlerle ve organik maddeyle birlikteliği belirtilmiştir (Swaine 1990). Ancak TOC ve kül ile herhangi bir korelasyon ilişkisi belirlenemediği için kökensel

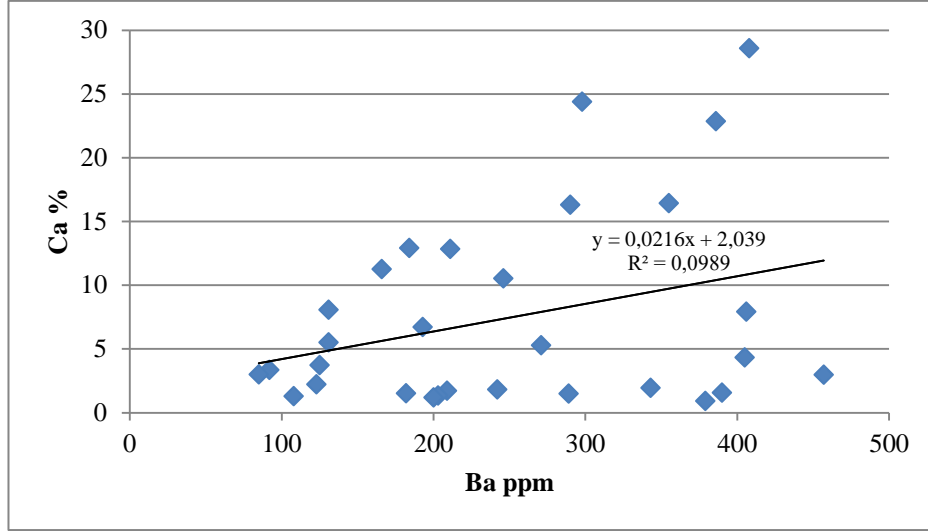
olarak yorumlama yapılamamıştır. Çalışma alanında büyük ölçüde sülfitlerle ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanında ortalama 2,3 ppm olarak belirlenen Cs ile Ni, Mo ve TOC arasında anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir. Sr ve W ise Cs'la negatif korelasyon ilişkisi göstermiştir. Ba, toplam kükürt, V, Co, Cu, Y, Nb, Sb, Hg, U, Zn, NTE, Hf, Rb, Pb ve Th ile pozitif korelasyon saptanmıştır. Cs kömürde büyük ölçüde mineral madde ile ilişkili olarak bulunur (Uzunov ve Karadzhova 1968). K'ca zengin mineraller, mika ve feldispat grubu mineraller, alkali metalce zengin illit ve bazı killerde Cs belirlenmiştir (Swaine 1990; Karayiğit vd. 2000b). Çalışma alanında da K ile çok yüksek pozitif ilişki sunmuştur (Şekil 4.45). Dendogramda da Cs ile K, Th ve Rb'nin yakın ilişkisi görülmektedir. Kül ile yaptığı pozitif korelasyon, Cs'un inorganik kökenli olduğunu, özellikle de detritik minerallerle ilişkili olarak ortamda bulunduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4.45. Cs-K ilişkisi

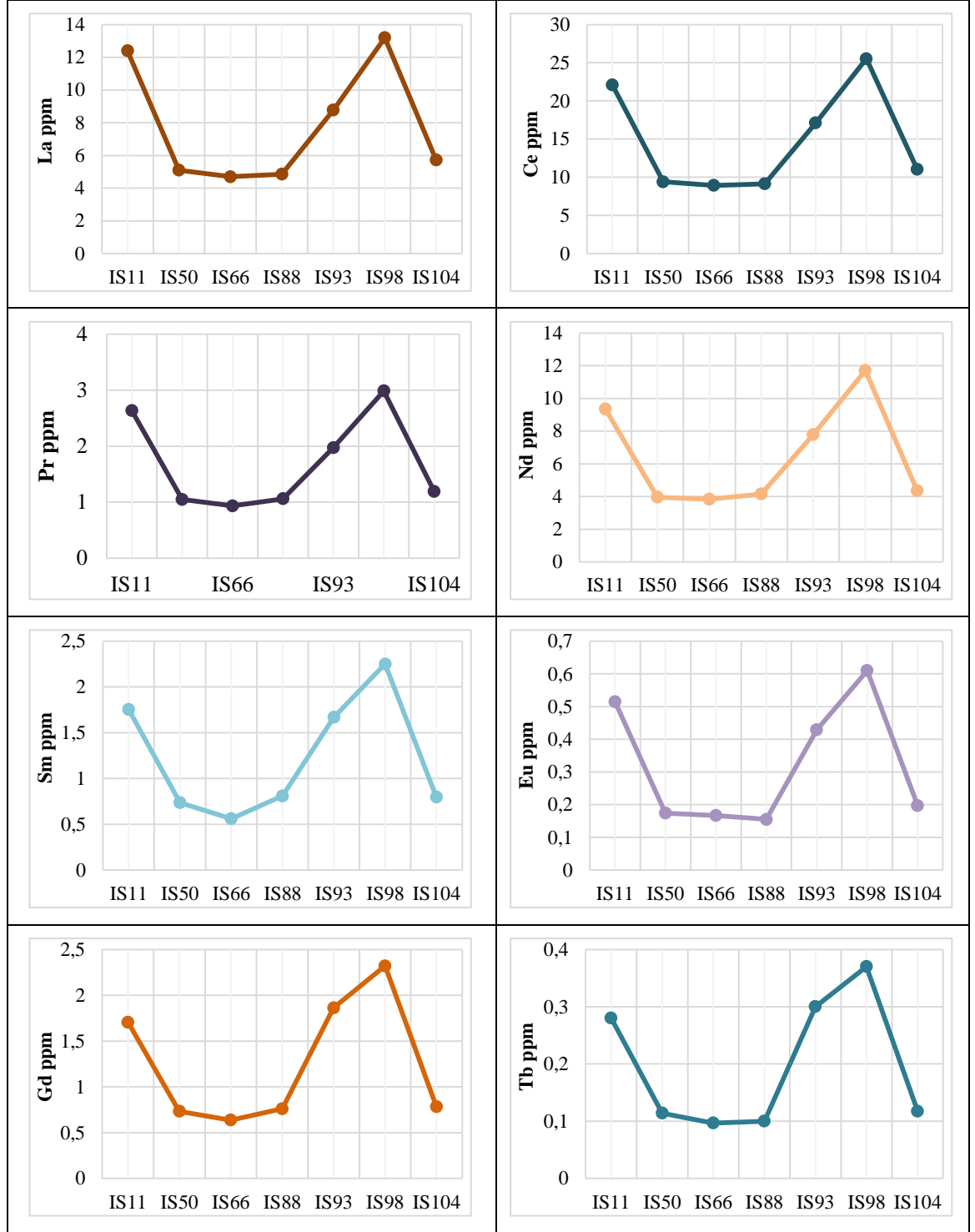
Çalışma alanında 250,27 ppm ortalama sunan Ba'un konsantrasyonu, IS66 numaralı kuyuda 300 ppm'in üzerine çıkmaktadır. İncelenen örneklerde Ba, sadece Cs elementi ile pozitif korelasyon göstermiş, karşılaştırma yapılan diğer unsurlarla anlamlı bir korelasyon ilişkisi belirlenmemiştir. Ba, kömürlerde çoğunlukla barit ve diğer Ba içerikli minerallerde bulunur (Finkelman 1995). Goodarzi (2002) Ba'un organik madde ve kil ile ilişkisini de belirtmiştir. Morgan vd. (1981) düşük ranklı kömürlerde Ba'un organik birlikteliğine değinmiştir. Ankeritlerle birlikte de bir miktar Ba tespit edilmiştir (Swaine 1990). Kül ve TOC ile bir ilişki belirlenemediği için kökensel olarak organik veya inorganik oluşu saptanamamıştır. XRD analizlerinde barit tespit edilememiştir. Detritik minerallerle ilişkili elementlerle de arasında belirgin bir ilişki kurulamamıştır. Ancak Ca ile pozitif ilişki sergilediği belirlenmiştir (Şekil 4.46). XRD analizlerinde, hemen hemen her seviyede belirlenen ankerit mineralinin Ba için kaynak olabileceği düşünülmektedir.



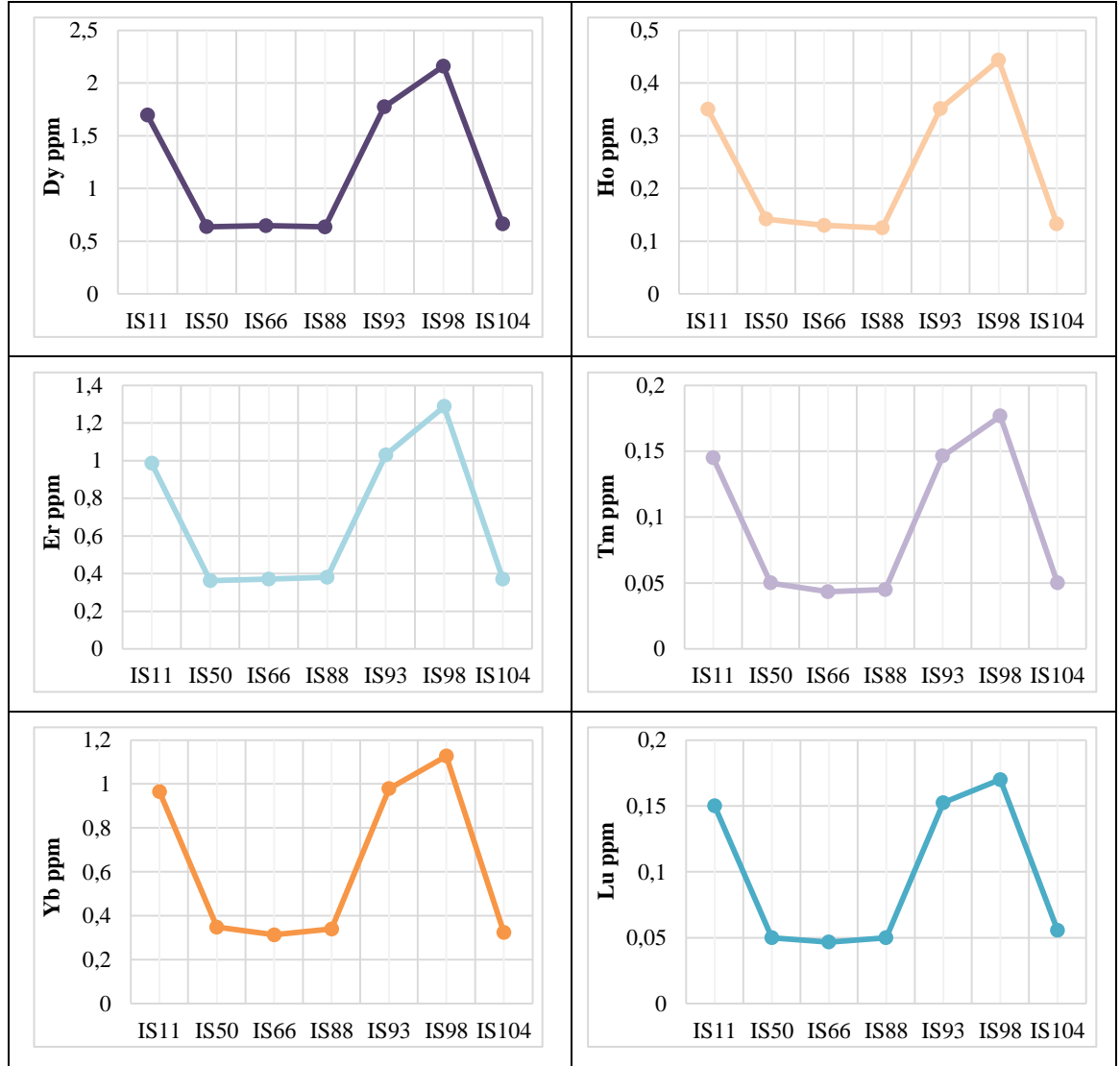
**Şekil 4.46.** Ba-Ca ilişkisi

Karşılaştırma yapılan diğer kömür örneklerine nazaran düşük ortalamalar sunan NTE'nin kuyu bazında ortalama değerleri Şekil 4.47'de verilmiştir. Çalışma alanında Y, V, Co, Cu, Zn, Rb, Zr, Nb, Cs, Hf, Pb, Th, Ni, U, As, Hg ve kül ile pozitif korelasyon sunmaktadırlar. Sr, W ve TOC ile korelasyon ilişkileri negatiftir. Mo, Sb, Ba ve toplam kükürt ile anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir. Nadir toprak elementleri büyük oranda mineral madde ile ilgili olarak bulunmaktadır (Palmer and Filby 1984; Shpirt vd. 1984; Eskenazy 1987; Goodarzi ve van der Flier-Keller 1988 ) Organik birliktelikleri çok nadirdir. Fikelman 1982 incelediği linyitlerin % 10'undan daha azında organik birliktelik belirlemiştir. TOC ile negatif, Kül ile pozitif korelasyon ilişkisi, NTE'nin inorganik kökenli olduğunu ortaya koymaktadır. Karbonatlar ve P ile anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Buna karşın, Si, Al, K'un yüksek değerler gösterdiği kuyularda bu elementlerle benzer davranış sergilemesi killerle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.





Şekil 4.47. Kuyulara göre NTE ortalamaları



Şekil 4.47'nin devamı

Çalışma alanında 1,01 ppm ortalama sunan Hf elementi, tüm kuyularda düşük değerlerde izlenmektedir. Zr, V, Co, Cu, Zn, Rb, Y, Nb, Cs, NTE, , Ni, Co, kül ve U ile pozitif korelasyon saptanmıştır. Sr, W ve TOC ile korelasyon ilişkisinin negatif olduğu belirlenmiştir. Mo, Sb, Ba, Hg ve toplam kükürt ile anlamlı ilişki kurulamamıştır. Daha önce de belirtildiği gibi, Finkelman (1980) Hf ile Zr'un bir arada bulduklarına değinmiştir. Bu çalışmada da iki element arasında yüksek pozitif korelasyon saptanmıştır. Hf genellikle mineral madde ile ilişkilendirilir. Çalışma alanında Hf elementinin detritik girdinin yüksek olduğu kuyularda nispeten daha fazla oranda bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca Al, Si, K gibi elementlerle pozitif yönde ilişkisi göz önünde bulundurulduğunda Hf'un kaynağının kil mineralleri olduğu saptanmıştır.

Örnekleme yapılan tüm kuyularda ortalama 5 ppm'in üzerinde değer sunan W'ın çalışma alanındaki genel ortalaması 9,85 ppm olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanında W'ın hiçbir elementle pozitif korelasyon ilişkisi tespit edilememiştir. Co, Cu, Zn, Rb, Y, Zr, Nb, Cs, NTE, Hf, Pb, Th ve kül ile olan korelasyon ilişkisi ise negatiftir. V, Ni,

As, Sr, Mo, Sb, Ba, Hg, U, toplam kükürt ve TOC ile anlamlı bir korelasyon ilişkisi belirlenmemiştir. W kömürlerde organik madde ile ilişkili olarak bulunmaktadır ancak bir miktar W şeelit ve wolframit minerallerinde de belirlenmiştir (Eskenazy 1982). Karbonat mineralleriyle de birlikteliği belirtilmiştir (Singh vd. 1983). TOC ile anlamlı bir ilişki kurulamamış olsa da, kül ile negatif korelasyon ilişkisi büyük olasılıkla W'nin organik maddeyle ilişkili olarak bulunduğunu göstermektedir. Cluster analizinde de TOC ile olan yakın ilişkisi organik kökene işaret etmektedir. Çalışma alanında karbonatlarla bir ilişkisi saptanamamıştır.

En yüksek ortalamasını IS93 numaralı kuyuda veren Hg, çalışma alanı genelinde 0,05 ppm ortalama sunmaktadır. Sadece Sr ile negatif korelasyon ilişkisi olan Hg'nin Rb, Sb, Cs, Pb, Th, Cu, As, NTE, U ve toplam kükürt ile pozitif korelasyon ilişkisi belirlenmiştir. V, Co, Ni, Zn, Y, Zr, Nb, Mo, Ba, Hf, W, kül ve TOC ile anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Hg kömürlerin çoğunda sülfid ve selenit ile ilişkilidir ve HgS ile metalik Hg ve organometalik bileşiklerin Hg mineralizasyonu sonucu oluşmuştur (Finkelman 1995; Goodarzi 2002). Kömür içindeki Hg'nin kaynağı büyük oranda piritir. Çalışma alanında Hg ile kül ve TOC arasında bir ilişki belirlenmediği için kökensel açıdan net bir yorum yapmak güçtür. Ancak toplam kükürt ile sergilediği pozitif korelasyon Hg'nin pirit kaynaklı olduğuna, dolayısıyla inorganik kökene işaret etmektedir.

Pb çalışma alanında ortalama 5,51 ppm olarak bulunmaktadır. IS93 numaralı kuyuda, diğer kuyuların iki katından fazla ortalama göstermiştir. Sr ve W ile negatif korelasyon sergileyen Pb ile Ni, Mo, Ba ve TOC arasında anlamlı bir korelasyon ilişkisi saptanamamıştır. Öte yandan Rb, Cs, Th, Zn, Y, NTE, V, Co, Cu, As, Zr, Nb, Sb, Hf, Hg, U, kül ve toplam kükürtle pozitif korelasyon göstermiştir. Pb'un düşük olgunluktaki kömürlerde organik madde ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir (Zubovic vd. 1960; Swaine 1990; Finkelman 1995). Ancak çalışma alanında Pb ile TOC arasında anlamlı bir ilişki bulunmamasıyla birlikte kül ile pozitif korelasyon sergilemesi inorganik kökene işaret etmektedir. Pb büyük oranda sülfid minerallerinden kaynaklanmaktadır (Finkelman 1994a). Çalışma alanında toplam kükürt ile pozitif korelasyon göstermesi bu olasılığı desteklemektedir.

Th çalışma alanında 3,42 ppm ortalama sunar ve en yüksek değerlerini IS93 numaralı kuyuda verir. Sr ile negatif korelasyon ilişkisi sergilemiş, Rb, Cs, Pb, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, NTE, V, Co, Sb, U, Ni, Hf, Hg ve toplam kükürt ile pozitif korelasyon belirlenmiştir. Th, Mo, Ba ve W arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Palmer ve Filby (1984), Th'un mineral maddeyle, özellikle monazit ve zirkonla birlikte bulunduğunu, Finkelman (1980) monazit ve zirkonun yanı sıra xenotimedede de bulunduğunu belirtmişlerdir. Bir miktar Th demir oksitler ve kil mineralleriyle ilişkilendirilmiştir (Swaine 1990). Ancak Th ile organik birliktelik belirtilmemiştir. Çalışma alanında da TOC ile negatif, kül ile pozitif korelasyon göstermektedir. Al, Si, Ti, K ile çok yüksek düzeyde pozitif ilişkisi belirlenmiş olup, çalışma alanındaki Th'un büyük ölçüde kil minerallerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

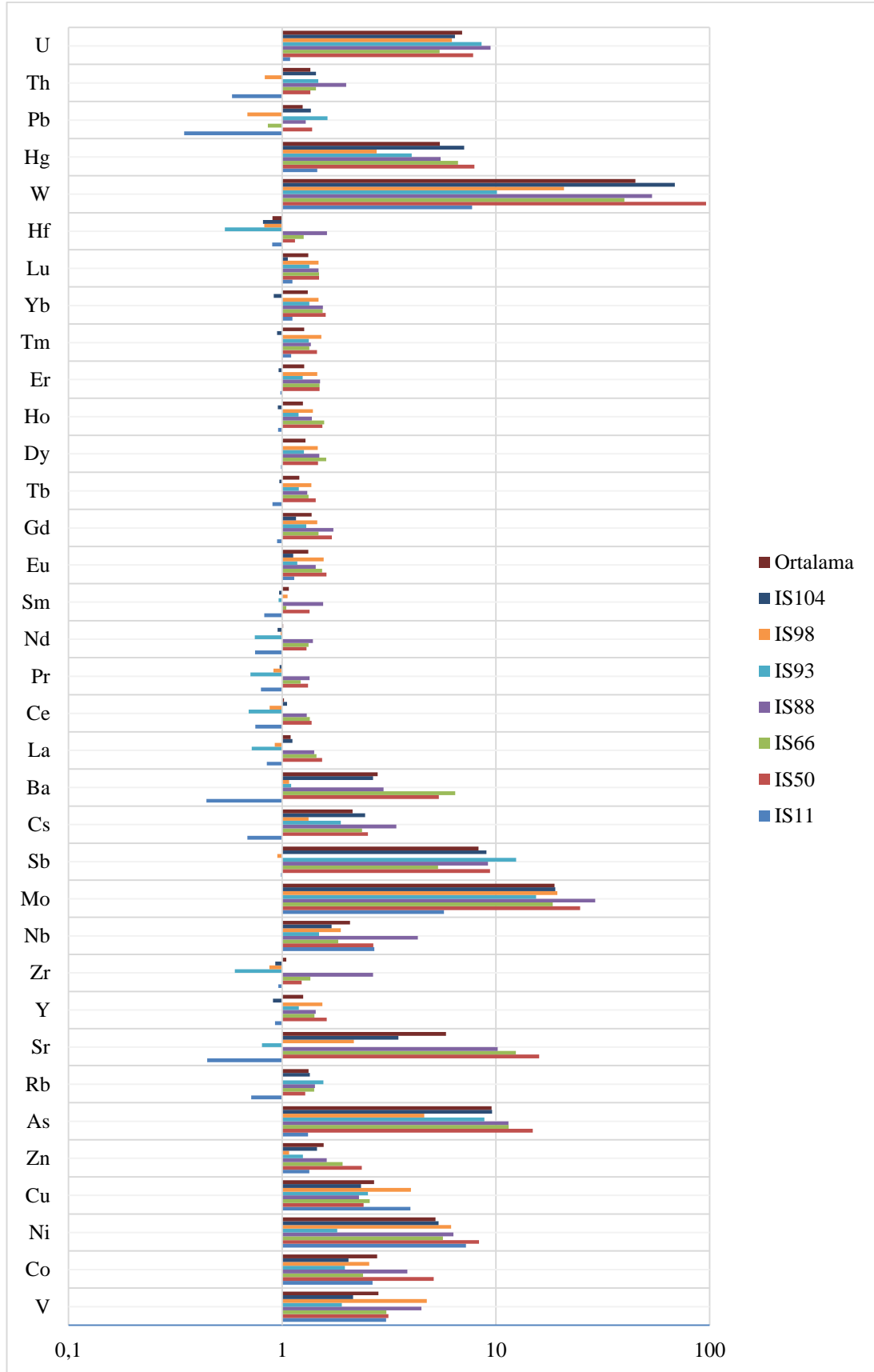
Çalışma alanında incelenen kömürlerde U elementi de Th gibi IS93 numaralı kuyuda en yüksek ortalamalarını sunmuştur. Tüm örnekler değerlendirildiğinde ise ortalama 3,65 ppm olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanında U, Ni, Ba ve W arasında anlamlı bir korelasyon ilişkisi kurulamamıştır. Sr ile negatif korelasyon gösteren U, Co,

Cu, Zn, Zr, Nb, NTE, Hf, Hg, V, As, Rb, Mo, Sb, Cs, Pb, Th ve toplam kükürt ile pozitif korelasyon sergiler. U'un kömürde hem organik hem de inorganik birliktelikleri bulunabilmektedir ancak çoğunlukla organik bileşenlerle ilgilidir (Swaine 1990; Finkelman 1995). İncelenen örneklerde U, TOC ile negatif, Kül ile pozitif korelasyon göstermektedir. Dolayısıyla çalışma alanındaki U içeriği büyük ölçüde inorganiktir. Yüksek ranklı kömürlerde zirkon ve NTE fosfatlar ile de bulunabilmektedir (Finkelman 1980). Düşük miktarda U adsorblama yoluyla kil minerallerinde de bulunabilir. Karbonat, silikat, oksit, vanadat, sülfat minerallerinde bulunduğu da belirtilmiştir (Wedepohl 1969; Swaine 1990).

İncelenen kömür örneklerindeki iz elementlerin zenginleşme faktörleri hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki kömürlerde V, Co, Ni, Cu, Zn, As, Nb, Mo, W, Hg ve U elementlerinin hem kuyu bazında, hem de genel ortalama açısından değerlendirildiğinde zenginleşmiş oldukları belirlenmiştir (Çizelge 4.15, Şekil 4.48). Rb, IS11 numaralı kuyuda tüketilmiş, IS98 numaralı kuyuda zenginleşme ve tüketilme göstermemiştir. Genel ortalama da ise zenginleşmiş olarak belirlenmiştir. Sr, IS11 ve IS88 numaralı kuyularda tüketilmiş, diğer kuyularda ve genel ortalama da zenginleşmiştir. Y, genel ortalama da zenginleşmiş olarak belirlenmesine karşın, IS11 ve IS104 numaralı kuyularda tüketilmiştir. Zr sadece IS50, IS66 ve IS88 numaralı kuyularda zenginleşmesine rağmen, genel ortalama da çok düşük düzeyde de olsa zenginleştiği belirlenmiştir. Sb, Cs, Ba, Pb ve Th elementleri IS11 numaralı kuyuda tüketilmiş olmasına karşın, genel olarak çalışma alanında zenginleşmişlerdir. Hf, Zr'a benzer şekilde sadece IS50, IS66 ve IS88 numaralı kuyularda zenginleşmiş, genel olarak çalışma alanında tüketilmiştir. NTE'nden sadece Pr 1'in altında (0,99) değer vermiştir. Ancak bu değer belirgin bir tüketilmeyi ifade etmemektedir. Genel olarak NTE'lerinde küçük ölçekte de olsa zenginleşme görülmektedir. Özellikle IS50, IS66 ve IS88 numaralı kuyularda tüm NTE'ler zenginleşmiştir. Çalışma alanındaki element zenginleşmeleri büyük ölçüde inorganik madde ile ilişkilidir.

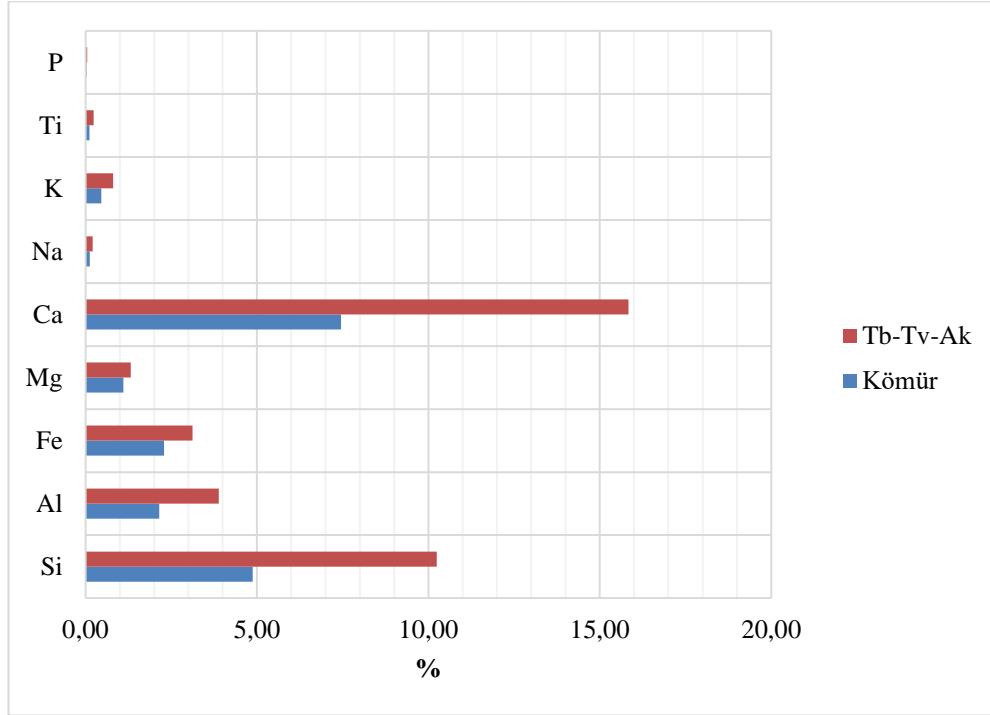
Çizelge 4.15. Şarkikaraağaç kömürlerine ait iz element zenginleşme faktörü değerleri

Element	EF= (element/Al)örnek/(element/Al)UCC							Ortalama
	IS11	IS50	IS66	IS88	IS93	IS98	IS104	
V	3,07	3,14	3,07	4,48	1,90	4,74	2,15	2,82
Co	2,65	5,11	2,39	3,85	1,97	2,55	2,04	2,78
Ni	7,23	8,34	5,65	6,32	1,81	6,17	5,39	5,22
Cu	3,98	2,40	2,57	2,29	2,52	4,00	2,33	2,69
Zn	1,34	2,36	1,92	1,61	1,25	1,08	1,45	1,56
As	1,32	14,87	11,46	11,43	8,83	4,61	9,58	9,53
Rb	0,72	1,28	1,41	1,42	1,56	1,00	1,35	1,33
Sr	0,45	15,91	12,38	10,19	0,80	2,16	3,50	5,85
Y	0,93	1,62	1,42	1,43	1,20	1,54	0,91	1,25
Zr	0,96	1,23	1,35	2,66	0,60	0,87	0,93	1,05
Nb	2,70	2,67	1,83	4,32	1,49	1,88	1,70	2,08
Mo	5,71	24,79	18,45	29,11	15,40	19,38	18,96	18,77
Sb	0,99	9,37	5,36	9,17	12,44	0,95	9,02	8,29
Cs	0,69	2,52	2,37	3,42	1,88	1,33	2,44	2,13
Ba	0,44	5,41	6,44	2,98	1,10	1,08	2,66	2,80
La	0,85	1,54	1,45	1,41	0,72	0,92	1,12	1,10
Ce	0,75	1,37	1,35	1,30	0,70	0,87	1,05	1,02
Pr	0,79	1,32	1,22	1,34	0,71	0,91	0,97	0,99
Nd	0,75	1,30	1,33	1,39	0,74	0,98	0,95	1,01
Sm	0,82	1,34	1,04	1,56	0,96	1,06	0,97	1,08
Eu	1,14	1,61	1,54	1,43	1,18	1,56	1,13	1,33
Gd	0,95	1,70	1,48	1,74	1,30	1,46	1,16	1,37
Tb	0,90	1,44	1,33	1,31	1,20	1,37	0,97	1,20
Dy	0,99	1,47	1,61	1,49	1,26	1,47	0,99	1,29
Ho	0,96	1,54	1,57	1,38	1,19	1,39	0,95	1,25
Er	0,98	1,49	1,50	1,51	1,25	1,46	0,96	1,27
Tm	1,10	1,45	1,34	1,36	1,33	1,52	0,95	1,27
Yb	1,12	1,60	1,54	1,55	1,34	1,48	0,91	1,32
Lu	1,12	1,49	1,49	1,48	1,34	1,48	1,06	1,32
Hf	0,90	1,15	1,26	1,62	0,54	0,82	0,81	0,90
W	7,74	96,07	39,88	53,71	10,10	20,79	68,58	44,87
Hg	1,46	7,92	6,64	5,50	4,04	2,76	7,09	5,46
Pb	0,35	1,38	0,86	1,29	1,63	0,69	1,36	1,25
Th	0,58	1,35	1,44	1,99	1,48	0,83	1,44	1,35
U	1,09	7,83	5,45	9,44	8,56	6,22	6,42	6,95

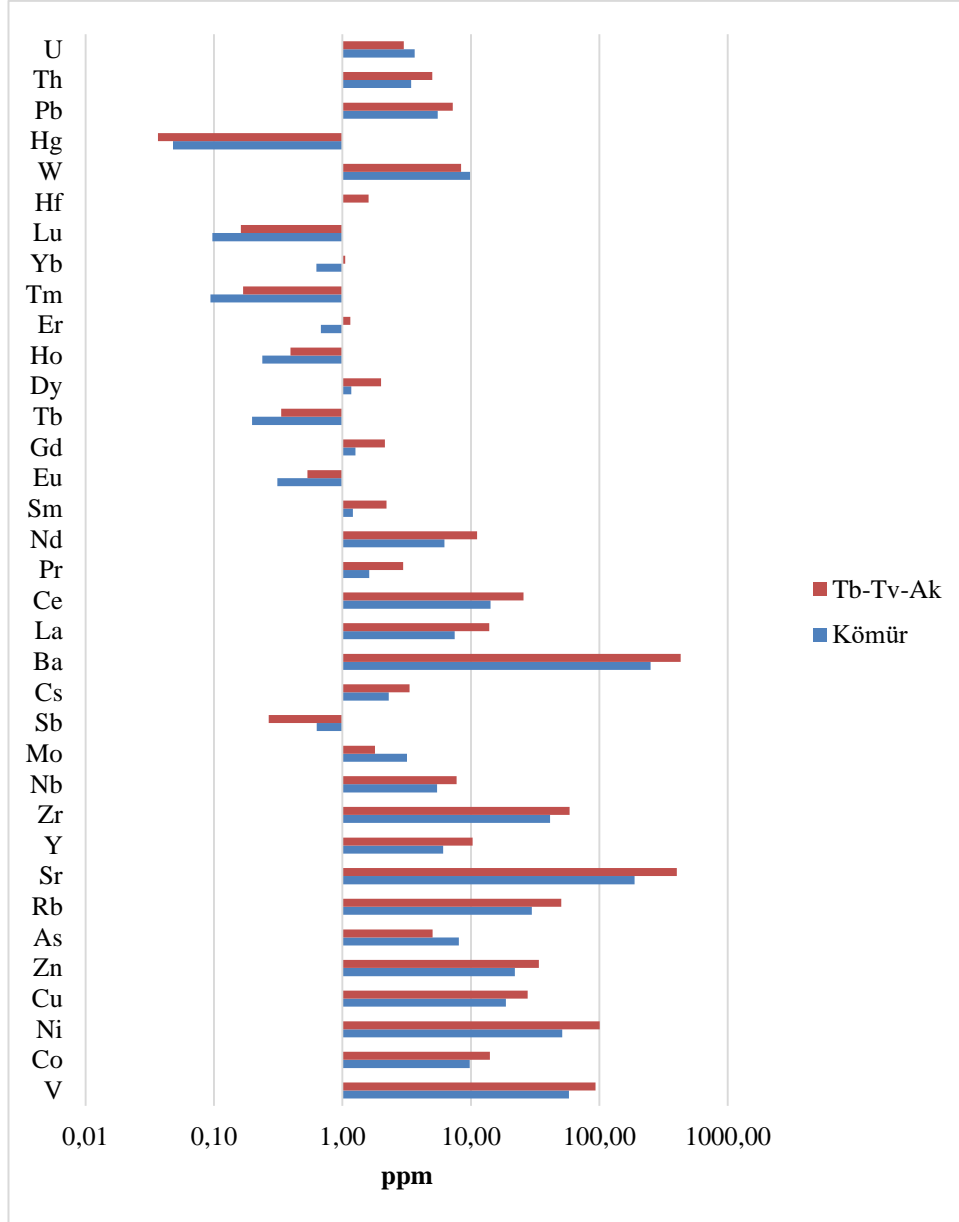


Şekil 4.48. İz elementlerin UCC'na göre kuyu bazında zenginleşme faktörleri

Kömür örneklerinin element içerikleri ile taban, tavan ve ara kesme birimlerinin element içeriğinin karşılaştırılması amacıyla, kayaç örneklerinde de maör ve iz element analizleri gerçekleştirilmiştir. Kayaç örneklerinde tüm ana elementler doğal olarak artış sergilemiştir (Şekil 4.49). İz elementlerde ise As, Mo, Sb, W, Hg ve U ortalamalarında düşüş belirlenmiştir (Şekil 4.50). Korelasyon matrisine göre As, Mo, Sb, Hg ve U büyük ölçüde inorganik madde ile ilişkilendirilmiştir. Ancak bu elementlerin kömür örneklerinde, kayaç örneklerine nazaran konsantrasyonlarının daha yüksek olması, organik maddenin oluşum ortamıyla yakından ilişkilerini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.49. Kömür ve kayaç örneklerinin ana element içeriklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.50. Kömür ve kayaç örneklerinin iz element içeriklerinin karşılaştırılması

#### 4.7.3. Şarkikaraağaç kömürlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi

Kömürde bulunan iz elementler çevresel etkileri açısından üç grup altında toplanmıştır (Swaine ve Goodarzi 1995). I. Grup elementler As, Cd, Hg ve Se'dan oluşmaktadır. Bu elementler çevre açısından hassastır ve toksik olarak kabul edilirler. Şarkikaraağaç kömürlerinde Cd ve Se'un, çoğu örnekte deteksiyon limitlerinin altında kaldıkları için ortalamaları hesaplanamamıştır. Ölçüm yapılabilen örneklerde ise oldukça düşük değer sunmuşlardır. As, Cd ve Hg ortalamaları ise dünya kömürlerinden düşüktür.

II. grup B, Be, Cu, F, Mo, Ni, Pb, Th, U, V ve Zn elementlerinden oluşur ve bu elementlerin çevresel etkileri söz konusudur. Tez kapsamında yapılan ICP-MS analizi B



ve Fe elementini kapsamamaktadır. Be'un ortalaması deteksiyon limitlerinin altında kaldığı için belirlenememiş, ölçüldüğü örneklerde ise düşük değerler tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki Pb ortalaması, dünya ortalamasından düşüktür. Ancak Cu, Mo, Ni, V, Th ve U ortalamaların üstünde değer sunmaktadır.

III grup elementler Ba, Co, Sb, Sn ve Tl'den oluşmakta olup, çalışma alanında Ba ve Co ortalamaların üstünde değer sunmaktadır. Bu elementler çevresel açıdan olumsuz bir etki yaratmamaktadır.

Bu elementlerden Co ve Ni, Clean Air Act Amendments USA (1990)'ın potansiyel tehlikeli hava kirleticiler (HAPs) sınıfında yer almaktadır. Kayaç örneklerinde yapılan element analizlerinde çevre açısından sorun yaratabilecek element değerlerinde kömürlerdekilere farkı olarak bir artış gözlenmemiştir. Öte yandan, kömürün yakılması sonucu oluşan küllerde bu elementlerin miktarlarının artması olasıdır. Bu nedenle kömür külü örneklerinde de iz element analizi yapılarak, çevresel açıdan etkisi değerlendirilmelidir.

## 5. SONUÇLAR

Isparta ili Şarkikaraağaç ilçesinde bulunan kömür/kömürlü birimleri konu alan tez çalışmasında söz konusu birimlerin organik ve inorganik jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ile mineral/element içeriklerinin ortaya konulması, iz element zenginleşmelerinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, kömür/kömürlü birimlerde organik madde miktarı, organik madde türü, organik madde olgunluğu belirlenmiş, organik petrografik analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kömürlü örnekler ile taban-tavan ve ara kesme örneklerinde XRD ve ana-iz element analizleri ile mineralojik bileşim ve element içeriği ortaya konmuştur.

Çalışma alanına ait örneklerin TOC miktarı % 10,19-47,05 arasında değişmekte olup, ortalama % 32,4 olarak hesaplanmıştır. İncelenen örneklerin HI değerleri 73-292 mg HC/g TOC, OI değerleri 72-160 mg CO<sub>2</sub>/g TOC, T<sub>max</sub> değerleri 398-443 °C arasında değerler sunmaktadır. Organik madde tipini belirlemek için HI-OI, S<sub>2</sub>-TOC, HI-T<sub>max</sub>, diyagramlarından yararlanılmış ve III. Tip kerojen (karasal bitki kökenli-hümic organik madde) belirlenmiştir. T<sub>max</sub> değerleri ortalama 428 °C olup, bu değer olgunlaşmamış organik maddeye işaret eder. Ancak örneklerin tamamının olgunlaşmamış organik madde ile erken-orta olgun organik madde sınırı olan 435 °C'ye çok yakın değerler sunması, organik maddenin diyajenez aşamasının son evresinde olduğuna işaret etmektedir. PI değerleri 0,02-0,13 arasında olup ortalama 0,05 olarak hesaplanmıştır. Bu değer de olgunlaşmamış organik maddeyi ifade etmektedir. Rock-Eval verilerinden elde edilen PY değerleri 12,24-141,39 arasında olup ortalama 53,72 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre çalışma alanına ait birimler iyi derecede kaynak kaya sınıfındadırlar. HI/TOC diyagramına göre değerlendirilen örneklerin çoğunlukla gaz kökenini gösteren alanda olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanına ait örnekler Jones (1987)'ye göre birkaç örnek dışında C organik fasiyesi özelliğindedir.

İncelenen örneklerde baskın maseral grubu hüminitlerdir (% 38-91). Liptinit grubu % 2-55, inertinit grubu ise % 5-23 oranlarında belirlenmiştir. Tüm örneklerinin mineral madde (pirit, fosil kavkısı, kil ve diğer inorganikler) içeriği oldukça yüksektir. Minerallerinin bolluğu turba oluşumu esnasında sellenmeler veya diğer etkilerle ortama mineral girişi ile inorganik maddelerin zaman zaman organik maddenin yerini aldığını göstermektedir. Tüm örneklerde pirit açısından oldukça yüksek değerler (% 3-8) belirlenmiştir. En yaygın pirit şekli framboidal olup, çatlak ve boşluk dolgusu veya kömürler içerisinde dağılmış halde de gözlenmiştir. Framboidal pirit bolluğu ortamda kükürt bakteri faaliyetlerinin yoğunluğunu göstermektedir. Yüksek kükürt içeriği turba ortamının neredeyse nötr veya alkalin şartlar altında olduğunu ortaya koymaktadır. Hüminit grubunda en baskın maseralin jelinit olduğu saptanmıştır. Jelinitler dışında densinit ve ülminitler de önemli miktarda bulunmakta olup, daha az oranlarda korpohüminit, atrinit ve tekstinite rastlanılmıştır. Jelinit maseralinin bolluğu, limnotelmatik turba koşullarını, ıslak çayır bataklığı turbalarını ve turbadaki suda kalsiyum iyonunun yüksek olduğunu göstermektedir. Detrohümit maserallerinin bol miktarda bulunması turba oluşumunda otsu bitkilerin katkısı veya su seviyesinin yüksek olduğu bataklıklarda yüksek enerjiden dolayı, organik maddenin kırılıp parçalanmasını ifade etmektedir. Çalışma bölgesindeki kömürlerde yoğun olarak belirlenen ülminit maserali gölgesel ortam şartlarını yansıtmaktadır. Liptinit grubunun baskın maserali olan suberinit

ise orman bataklıklarında yaygın olarak izlenmektedir. Hemen hemen tüm örneklerde tespit edilen kütinit varlığı depolanma ortamındaki su seviyesinin yüksek olduğunu ve turba oluşumunun limnik ortamda su altı koşullarında gerçekleştiğini göstermektedir. Miktarları düşük olarak belirlenmekle birlikte sporinit maserali varlığı da sualtı koşullarını düşündürmektedir. İnterinit grubu maserallerinden inertodetrinit, makrinit, füzinit ve funginit hemen hemen her seviyede ancak düşük miktarlarda belirlenmiştir. İnterinitlerin varlığı turba oluşumu esnasında bitkisel malzeminin zaman zaman oksidasyon koşullarına maruz kaldığını göstermektedir. Dolayısıyla havzadaki interinit miktarının doğuya doğru artması, su seviyesindeki değişime işaret etmektedir.

GI-TPI diyagramında Şarkikaraağaç kömürleri çoğunlukla limnik-limnotelmatik bataklık zonlarında yer almaktadır. GI değerleri 3-15,75 arasında değişmektedir ve bu değerler havzadaki kömürlerin su altı ortamında, oksitlenmeye maruz kalmadan oluştuklarını göstermektedir. Farklı seviyelerde gözlemlenen GI değerlerindeki değişim, su seviyesinin zaman zaman artıp, zaman zaman azaldığını göstermektedir. TPI 0,11-0,65 arasında değerler sunmaktadır. Düşük TPI, değerlerinin hümişikasyon nedeniyle bitki dokularının korunamadığını ifade etmektedir. Jelinit maseralinin fazlalığı da organik maddenin dokusunun bozulduğuna işaret etmekte ve inceleme alanındaki maseral analizi sonuçları bu durumu desteklemektedir. GVI-VI diyagramında da kömür çökeli ortamının çoğunlukla limnik ortamda sellenmiş bataklık ve bataklık zonları olduğu belirlenmiştir.

İncelenen örneklerin hüminit yansıma değerleri 0,309 - 0,368 % Ro arasında değişmektedir. Bu değerlere göre Şarkikaraağaç havzası kömürleri ASTM sınıflamasına göre linyit, Alman DIN sınıflamasına göre yumuşak kahverengi kömür olarak belirlenmiştir. Hüminit yansıma değerleri de olgunlaşmamış organik maddeyi ifade etmekte olup, Rock-Eval sonuçlarını desteklemektedir.

XRD analizi sonucunda kömür örneklerinde kalsit, kuvars, kil mineralleri, dolomit, aragonit, feldispat grubu mineraller, plaiyoklaz grubu mineraller, kristobalit, siderit, ankerit, pirit, jips, analsim, mika grubu mineraller (biyotit, muskovit) ve amorf malzeme belirlenmiştir. Hemen hemen her seviyede kil mineralleri yoğun miktarda belirlenmiştir. Bu durum tüm çökeltme süresi boyunca ortama kırıntılı malzeme geliminin devam ettiğini göstermektedir. Kömür örneklerine ait kil fraksiyonunda baskın kil minerallerinin smektit ve illit olduğu belirlenmiş, bunlardan daha az miktarlarda klorit ve kaolinit saptanmıştır. Smektit, her örnekte izlenmemesine karşın, tespit edildiği seviyelerde yüksek miktarda konsantrasyon sunmuştur. Bu durum smektitin henüz illite dönüşemediğini, dolayısıyla kömürlerin yeterli olgunluk düzeyine ulaşamadığını ifade eder. Kömürler içerisinde mevcut olan illit ve kloritlerin ortama dışarıdan taşınarak geldiği, smektit ve kaolinitlerin ise feldispatların yerinde alterasyonu sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Kömür taban, tavan ve ara kesmelerinden alınan kayaç örneklerinin XRD analizi sonucunda, kenar kesimlerinde bulunan 93, 98, 104 numaralı kuyulara ait örneklerin, kömürde belirlenen mineralojik dağılıma benzer özellik sunduğu ve kırıntılı kökene ait minerallerin bolluğu tespit edilmiştir. Öte yandan havzanın merkezinde bulunan kuyulardan alınan örneklerde karbonatların baskınlığı söz konusudur. Bu durum, havzanın kenar kesimlerinde kırıntılı çökeliimin, orta kesimlerinde ise kimyasal çökeliimin etkin olduğunu ortaya koymaktadır.

Kömürlere ait ana element değerlendirmelerinde, Fe, Mg, Ca, Ti ve P elementlerinin zenginleştiği belirlenmiştir. Korelasyon analizinde Al, Si, Ti, K'un birbirleriyle yakın ilişkisi belirlenmiş, bu elementlerin ortamdaki varlığı, kırıntılı girdiyle ilişkilendirilmiştir. Yapılan istatistik analizinde kül ile pozitif korelasyon sergileyen inorganik kökenli elementler Si, Al, Fe, Na, K ve Ti,'dur. Mg, Ca ve P kül, TOC ve toplam karbon ile anlamlı bir ilişki sunmamıştır. Ana elementler arasında doğrudan organik kökene işaret eden bir element bulunmamaktadır. Bu durumun kömürün yüksek mineral madde içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İz elementlerde yapılan zenginleşme faktörü hesaplamalarına göre V, Co, Ni, Cu, Zn, As, Nb, Mo, W, Hg, U, Rb, Sr, Y, Zr, Sb, Cs, Ba, Pb ve Th Şarkikaraağaç kömürlerinde zenginleşmiştir. NTE ise genel olarak zenginleşmiş, sadece Pr 1'in altında (0,99) değer vermiştir. İz elementlerde kül ile V, Co, Cu, Zn, Y, Nb, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu yüksek; Ni, As, Rb, Zr, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Hf, Pb, Th, U, orta; Mo, TOTS düşük pozitif korelasyon göstermektedir. Sr ve W ile düşük negatif korelasyon sunan kül ile Sb, Ba ve Hg arasında anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Taban, tavan ve ara kesme birimlerinin ana element analizlerinde, tüm ana elementler doğal olarak artış sergilemiştir. İz elementlerde ise As, Mo, Sb, W, Hg ve U ortalamalarında düşüş belirlenmiştir. Kömür örneklerine ait iz element korelasyon matrisinde, As, Mo, Sb, Hg ve U büyük ölçüde inorganik madde ile ilişkilendirilmiştir. Ancak bu elementlerin kömür örneklerinde, kayaç örneklerine nazaran konsantrasyonlarının daha yüksek olması, organik maddenin oluşum ortamı ile ilişkilerini düşündürmektedir. Çalışma alanındaki kömürlerde element zenginleşmeleri büyük ölçüde inorganik madde ile ilişkilidir.

Şarkikaraağaç kömürlerinde belirlenen elementler çevresel açıdan değerlendirildiğinde, Cu, Mo, Ni, V, Th, U, Ba ve Co'nun risk oluşturabileceği belirlenmiş, kayaç örneklerinde ise çevre açısından risk yaratabilecek element değerlerinde kömür örneklerinden farklı olarak bir artış gözlenmemiştir. Kömürün yakılması sonucu oluşan külde, risk oluşturabilecek element miktarlarının artabilmesi nedeniyle, kömür küllerinde de element analizi yapılarak çevresel açıdan değerlendirilmelidir.

## 6. KAYNAKLAR

- Altunsoy M., Özçelik O. 1993. Organik Fasiyesler. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 43: 34-39.
- Altunsoy, M., Özçelik, O., Özdoğan, M., Güllüdağ C.B. 2015. Major and trace element contents in coaly units of the Pliocene Dursunlu Formation. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15: 774-780.
- Altunsoy, M., Sarı, A., Özçelik, O., Engin, H., Hökerek, S. 2016. Major and trace element enrichments in the Karapınar coals (Konya, Tukey). *Energy Sources, Part A*, 38: 88-99
- Altunsoy, M., Özçelik, O., Güllüdağ C.B. 2017. Comparision of major and trace element enrichments of Pliocene coal fields from Karapınar and Iğın (Konya) Basins (Turkey). *Journal of Scientific and Engineering Research*, 4: 269-275
- Ammosov, I.I. 1956. New methods of coal petrography. Studies of the laboratory of coal geology 6.
- Anonim 1: <https://earth.google.com> [Son erişim tarihi: 01.08.2016].
- 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.
- Ayhan, A., ve Karadağ, M. 1985. Şarkikaraağaç (Isparta) güneyinde bulunan boksitli demir ve demirli boksit yataklarının jeolojisi ve oluşumu. *TJK. Bült.*, 28: 137-146.
- Ayhan, A., 1986. Hüyük (Beyşehir) yöresinin Alt-Orta Kambriyen yaşlı birimlerde bulunan barit zuhurlarının özellikleri. *S.Ü. Müh.Mim.Fak.Dergisi*, 1: 58-69.
- Baba, A., Save, D., Gündüz, O., Gürdal, G., Bozcu, M., Sülün, S., Özcan, H., Hayran, O., İkişik, H., Bakırcı, L. 2008. Çan Kömür Havzasındaki madencilik faaliyetlerinin tıbbi jeoloji açısından değerlendirilmesi. ÇAYDAG-106Y041 nolu proje raporu, 479 s.
- Berner, R. A. 1981. A new geochemical classification of sedimentary environments. *J. Sedim. Petrol*, 51: 359-365.
- Berner, R.A., and Raiswell, R. 1983. Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47: 133-137.
- Blumenthal, M. 1944. Schichtfolge und bau der Taurusketten im hinterland von Bozkır. *İ.Ü. Fen Fakültesi Mecmuası*, Seri B, IX, 2: 95-125.
- Blumenthal, M. 1963. Le Systeme Structural du Taurus Sud-Anatolien, In Livre a'memoire du Professeur P. Fallot, *Mem. Soc. Geol. Fr.*, 2: 611-662.
- Boggs, Jr.S. 2009. Petrology of sedimentary rocks. Cambridge University Press, UK, 2nd edition, 600 p.
- Boray, A., Şaroğlu, F., ve Emre, Ö., 1985. Isparta Büklümünün Kuzey Kesiminde Doğu - Batı Daralma İçin Bazı Veriler. *Jeoloji Müh. Dergisi*, 9-20.

- Bouska, V. 1981. Geochemistry of coal. Elsevier, Amsterdam, 284 p.
- Bouska, V. and Pesek, J. 1999. Quality parameters of lignite of the North Bogemian Basin in the Czech Republic in comparison with the World average lignite. *International Journal of Coal Geology*, 40: 211-235.
- Bozcu, M., Akgün, F., Gürdal, G., Bozcu, A., Kapan Yeşilyurt, S., Karaca, Ö., 2008. Çan-Yenice-Bayramiç (Çanakkale) Linyit Havzasının sedimantolojik, petrolojik, jeokimyasal ve palinolojik incelenmesi. TÜBİTAK - Proje No: 105Y114. 259, 236 s.
- BP (British Petroleum). 2015. BP Statistical review of world energy, June 11, 48 p.
- Brunn, J.H., Dumont, J.F., Graciansky, P.C., Gutnic, M., Juteau, T., Marcoux, J., Monod, O., Poisson, A., 1971. Outline of the geology of the Western Taurids. In: Compbell A.S. (Ed.), Geology and History of Turkey Petroleum Exploration Society of Libya, Tripol, pp. 225-255.
- Cabrera, L., Hagemann, H.W., Pickel, W. ve Saez, A., 1995. The coal bearing, Cenozoic As Pontes Basin (northwestern Spain): geological influence on coal characteristics. *Int. J. Coal Geol.* 27: 201-226.
- Calder, J., Gibling, M. ve Mukhopadhyay, P., 1991. Peat formation in a Westphalian B piedmont setting, Cumberland Basin, Nova Scotia, Nova Scotia: implications for the maceral-based interpretation of rheotrophic and raised paleomires. *Bulletin de la Societe Geologique de France* 162 (2): 283-298.
- Calvert, S.E. 1976. The mineralogy and geochemistry of near shore sediments. In: Riley JP, Chester R (Eds.). Chemical oceanography, Academic Press, London, pp.187-280.
- Casagrande, DJ. 1987. Sulphur in peat and coal. Coal and coal-bearing strata: recent advances, ed Scott AC, Geological Society Special Publication, pp. 87-105.
- Cengiz, O., Kuşcu, M., 1993. Çarıksaraylar (Şarkikaraağaç-Isparta) kuzeyinin jeolojisi ve kurşunlu barit yatakları. *TJK Bült.*, 1 (36): 63 -64.
- Cengiz, O., 1997. Şarkikaraağaç (Isparta) ile Hüyük- Doğanhisar (Konya) arasındaki barit yatakları ve oluşumu. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 247 s.
- Cengiz, O., ve Kuşcu, M. 2003. Evolution and geochemical characteristics of liswaenits between Madenli and Belcegiz (Gelendost - Sarkikaraagac, Isparta - Turkey). Proceeding of the 7th Biennial SGA Meeting, 24 - 28 August 2003, Athens - Greece, 1: 567 - 570.
- Çetin, H., ve Bulur, K. 1979. Yalvaç-Şarkikaraağaç (Isparta) bölgesi demirli boksit yatakları, Jeoloji raporu: MTA Enst. Arş., No: 6594. C. 54767, 96 s.
- Chou, C.L. 1984. Relationship between geochemistry of coal and nature of strata overlying the Herrin coal in the Illinois Basin. *USA. Geol. Soc. China. Mem.* 6: 269-280.
- Dai, S., Ren, D., Tang, Y., Yue, M., Hao, L. 2005. Concentration and distribution of elements in Late Permian coals from western Guizhou Province, China. *International Journal of Coal Geology*, 61: 119-137.

- Dai, S.F., Zhou, Y.P., Ren, D.Y., Wang, X.B., Li, D., Zhao, L. 2007. Geochemistry and mineralogy of the Late Permian coals from the Songzao Coalfield, Chongqing, southwestern China. *Science in China Series D: Earth Science*, 50: 678-688.
- Dai, S.F., Li, D., Chou, C.-L., Zhao, L., Zhang, Y., Ren, D.Y., Ma, Y.W., Sun, Y.Y. 2008. Mineralogy and geochemistry of boehmite-rich coals: new insights from the Haerwusu Surface Mine, Jungar Coalfield, Inner Mongolia, China. *International Journal of Coal Geology*, 74: 185-202.
- Dai, S.F., Ren, D.Y., Chou, C.L., Finkelman, R.B., Seredin, V.V. and Zhou, Y.P. 2012. Geochemistry of trace elements in Chinese coals: A review of abundances, genetic types, impacts on human health, and industrial utilization. *International Journal of Coal Geology*, 94: 3-21.
- Dale, L.S., Chapman, J.F., Buchanan, S.J. and Lavrencic, S.A. 1999. Mechanisms for trace element partitioning in Australian Coals, Project 4.2, Final Report, Co-operative Research Centre for Black Coal Utilisation.
- Dean, W.T. ve 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.
- Dehmer, J., 1989. Petrographical and organic geochemical investigation of the Oberpfalz brown coal deposits, West Germany. *Int. J. Coal Geol.*, 11: 273-290.
- Demirkol, C. 1977. Yalvaç-Akşehir dolayının jeolojisi. Doçentlik tezi, Selçuk Üniversitesi, Yerb. Böl., 114 s., (yayınlanmamış), Konya.
- Demirkol, C. Sipahi H., Çiçek, S., Barka, A., Sönmez, S., 1977. Sultandağı'nın Stratigrafisi ve Jeoloji Evrimi. M.T.A. Enst., Jeoloji Dairesi, Ankara.
- Demirkol, C. 1981. Sultandağı kuzeybatısının jeolojisi ve Beyşehir-Hoyran Napı ile ilişkisi. Çukurova Üniversitesi Temel Bilimler Fakültesi, Adana.
- Demirkol, C. 1982. Yalvaç-Akşehir dolayının stratigrafisi ve Batı Toroslarla denetirimi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 14: 3-14.
- Demirkol, C. ve Yetiş, C. 1985. Sultandağ Kuzeybatısındaki Allohton Birimler ve Jeoloji Evrimi. *Jeol. Müh. Dergisi*, 22: 3 -10.
- Desparies, A., Gutnic, M. 1972. Les gres rouges au sommet du Paleozoique du massif du Sultandağ et les niveaux ferra litiques de la couverture Mesozoique (NE du Taurus occidentale, Turquie). *Bull. De la. Soc. Geol. De France*, 3: 505-514.
- Diessel, C.F.K. 1982. An appraisal of coal facies based on maceral characteristics. *Australian Coal Geology*, 4: 474-483.
- Diessel, C.F.K. 1986. On the correlation between coal facies and depositional environments. Proceeding of 20th Symposium of Department of Geology, pp. 19- 22, University Newcastle, NSW.
- Diessel, C.F.K. 1992. Coal-bearing depositional systems. Springer Verlag, Berlin. 721 pp.
- Dumont, J. F. ve Kerey, E. 1975. Eğirdir Gölü güneyinin temel jeolojik etüdü. *TJK Bült.*, 18 (2): 169 – 174.

- Elitok, Ö. 2000. Şarkikaraağaç (Isparta) ve çevresinin jeoloji, mineroloji ve petrografisi. Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Elmas, N., Suner, F. 2006. Dinek (Şarkikaraağaç-Isparta) ve çevresindeki barit cevherleşmeleri. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, 5 (3): 267-277.
- Eren, Y. 1990. Engilli (Akşehir) ve Bağkonak (Yalvaç) köyleri arasında Sultandağları masifinin tektonik özellikleri. *TJK. Bült.*, 33: 39 - 50.
- Ershov, V.M. 1962. Rare earth elements in coals of the Kizel coal basin. *Geochemistry (USSR)* 3: 306-308.
- Eskenazy, G.M. 1982. The geochemistry of tungsten in Bulgarian coals. *Int. J. Coal. Geol.* 2: 99-111.
- Eskenazy, G.M. 1987. Rare earth elements and yttrium in lithotypes of Bulgarian coal. *Org. Geochem.*, 11: 83-89.
- Espitalie, J., Madec, M. and Tissot, B. 1977. Source Rock Characterization, 9th Offshore Technology Conference, pp. 439-44.
- ESRI. <https://www.esri.com>. file online [Son erişim tarihi: 27.11.2017].
- ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı). 2017. Dünya Ve Türkiye Enerji Ve Tabii Kaynaklar Görünümü 2017.
- Finkelman, R.B. 1980. Modes of occurrence of trace elements in coal. PhD dissertation, University of Maryland, 301 pp.
- Finkelman, R.B. 1982. The origin, occurrence, and the distribution of the inorganic constituents in low-rank coals. In: Low-rank Coal Basic Coal Science Workshop, Schobert, H. H. (Ed.). Washington, D.C.: US Dept. of Energy, pp. 70-89.
- Finkelman, R.B. 1993. Trace and minor elements in coal. Organic Geochemistry. Ed: Engel, M.H., Macko, S.A. New York: Plenum.
- 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.
- Flores, D. 2002. Organic facies and depositional palaeoenvironment of lignites from Rio Maior Basin (Portugal). *International Journal of Coal Geology*, 48 (3-4): 181-195.



- Given, P.H. and Miller, R.N. 1987. The association of major, minor and trace inorganic elements with lignites. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 51: 1843-1853.
- 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.
- Goodarzi F. 1985. Organic petrology of Hat Creek coal deposit. No 1, British Columbia. *Int. J. Coal Geol*, 5: 377-396.
- Goodarzi F. 1986. Optical properties of oxidized resinile. *Fuel*, 66: 260-265.
- Goodarzi, F. and van der Flier-Keller, E. 1988. Distribution of major, minor and trace elements in Hat Creek Deposit. No.2. British Columbia, Canada. *Chem. Geol.* 70: 313-333.
- Goodarzi, F. 2002. Mineralogy, elemental composition and modes of occurrence of elements in Canadian feed-coals. *Fuel*, 81: 1199-1213.
- Groen, J.C. and Craig, J.R. 1993. The inorganic geochemistry of coal petroleum and their gasification/combustion products. *Fuel Processing Tech.*, 40: 15-48.
- Hamilton, W.J. 1842. Researches in Asia Minor. *Transaction of the Geological Soc. of London, Bd. V, Vol. I.* London.
- Haude, H., 1972. Stratigraphie und tectonic des Sudlichen Sultandağ (SW Anatolien). *Zeit. Deutsch. Geol. Ges.*, 123: 411-421.
- Hoş Çebi, F., Korkmaz, S., Akçay, M. 2009. Trace element geochemistry of Jurassic coals from Eastern Black Sea Region, NE-Turkey. *Energy Sources Part A*, 31: 664-670.
- Hoş Çebi, F., Korkmaz, S. 2011. The environmentally significant element contents of Eocene coals in North Anatolia, Turkey”, *Energy Sources Part A*, 33: 1532-1545.
- Hunt, J.M. 1995. Petroleum geochemistry and geology. W.H. Freeman and Company, NewYork, 743 p.
- ICCP (International Committee for Coal Petrology). 1963. International Handbook of Coal Petrography (second ed.), CNRS. Academy of Sciences of the USSR, Paris, Moscow.
- ICCP (International Committee for Coal Petrology), 2001. The new inertinite classification (ICCP System 1994). *Fuel* 80: 459-471.
- IEA (International Energy Agency). 2016. Coal Information 2016, Paris.
- Jackson, K.S., Hawkins, P.J. and Bennett, A.J.R. 1985. Regional facies and geochemical evolution of Southern Denision Ttough. *APEA Journ.*, 20: 143-458.
- Jarvie, D.M. 1991. Total Organic Carbon (TOC) analysis: In: Source and migration processes and evaluation techniques, Merril, R.K. (Ed.), Tulsa, Treatise of Petroleum Geology. *AAPG Bulletin*, 113-118.
- Jones, R. and W., Demaison, G.J. 1982. Organic Facies - stratigraphic concepts and exploration tool. Proceedings of the Second ASCOPE Conference and

- Exhibition, Saldivar-Sali, A. (Ed.), Manilla, Asean Council on Petroleum, pp. 51-68.
- Jones, R.W. 1987. Organic Facies. In: Advances in Petroleum Geochemistry, Brooks, J. and Welte, D. (eds.), Academic Press, London, 2:1-90.
- Kagey, B.T., Wixson, B.G. 1983. Health implications of coal development. Applied Environmental Geochemistry. Thornton, I. Ed. London: Academic Press.
- Kalkreuth, W.D., Kotis, T., Papanicolaou, C., Kokkinakis, P. 1991. The geology and coal petrology of a Miocene lignite profile at the Meliadi Mine, Katerini, Greece. *International Journal of Coal Geology*, 17: 51-67.
- Kanbur, S. 2006. Isparta (Şarkikaraağaç) Havzasında katı atık düzenli depolama yer seçimine yönelik jeolojik - jeoteknik inceleme. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 92 s.
- Kara-Gülbay, R., Korkmaz, S. 2009. Trace element geochemistry of the Jurassic Coals in the Feke and Kozan (Adana) areas, Eastern Taurides, Turkey. *Energy Sources, Part A*, 31: 1315-1328.
- Karayığit, A.İ. and Whateley, M.K.G. 1997. Properties of a lacustrine subbituminous (k1) seam, with special reference to the contact metamorphism, Soma Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 34: 131-155.
- Karayığit, A.İ., Akgün, F., Gayer, R.A., Temel, A. 1999. Quality, palynology, and palaeo environmental interpretation of the Ilgin Lignite, Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 38 (3-4): 219- 236.
- Karayığit, A.İ., Gayer, R.A., Querol, X., Onocak, 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.İ., Spears, D.A., Booth, C.A. 2000b. Antimony and arsenic anomalies in the coal seams from the Gokler Coalfield, Gediz, Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 44 (1): 1 -17.
- Karayığit, A.İ., 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.
- Karayığit, A.İ. 2003. Mineralogy and trace element contents of the Upper Carboniferous Coals from the Asma-Dilaver and Gelik Mines in Zonguldak, Turkey. *Energy Sources*, 25 (7): 689-702.
- Karayığit, A.İ. and Celik, Y. 2003. Mineral matter and trace elements in Miocene Coals of the Tunçbilek-Domanik Basin, Kutahya, Turkey. *Energy Sources*, 25 (4): 339-355.
- Kerey, E. 1987. Sultandağları bölgesinde Koçbeyli tektonik penceresi: *Akd. Üniv. Isparta Müh. Fak. Derg.*, 3: 61 -69.
- Karuskopf, K.B. 1955. Sedimentary deposits of rare metals. *Econ. Geology*, 50th Anniversary 1905-1955 (1) : 411-463.
- Ketin, İ. 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri: *Maden Tetkik ve Arama Enst. Derg.*, 66: 20-34.

- Ketris, M.P., Yudovich, Y.E. 2009. Estimations of clarkes for carbonaceous biolithes: world averages for trace element contents in black shales and coals. *International Journal of Coal Geology*, 78: 135-148.
- Khorasani, G.K. 1987. Oil-prone coals of the Walloon coal measures, Surat Basin, Australia. In: Scott, A.C., (Ed.), Coal and Coal-Bearing Strata: Recent Advances. *The Geological Society London Special Publication*, 32: 303-310.
- Khorasani, G.K and Murchison, D.G. 1988. Order of generation of petroleum hydrocarbons from liptinitic macerals with increasing thermal maturity. *Fuel*, 67: 1160-1162.
- Kıran, D. 2004. Şarkikaraağaç-Isparta çevresindeki barit cevherleşmelerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 116 s.
- Koca, D. 2011. Nallıhan (Ankara, Türkiye) civarı bitümlü şeyllerinde organik madde ve iz element zenginleşmeleri. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, 411 s.
- Koçyiğit, A. 1983, Hoyran Gölü (Isparta bükümü) dolayının tektoniği. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 26: 1-10.
- Kolker, A., Huggins, F.E., Palmer, C.A., Shah, N., Crowley, S.S., Huffman, G.P. and Finkelman, R.B. 2000. Modes of occurrence of arsenic in four US coals. *Fuel Processing Technology*, 63: 167-178.
- Koralay, D. B. 2009. Bolu havzası Eosen bitümlü şeyllerinin hidrokarbon potansiyeli ve iz element dağılımlarının belirlenmesi. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 198 s.
- Kortenski, J., and Sotirov, A. 2002. Trace and major elements content and distribution in Neogene lignite from the Sofia Basin, Bulgaria. *International Journal of Coal Geology*, 52: 63-82.
- Kuşcu, M. ve Aydoğan, M. S. 2003. Koruyaka ve Göksöğüt ( Yalvaç-Isparta) plakette kireçtaşlarının yapıtaşı olarak kullanılabilirliklerinin araştırılması. *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Özel Sayı, 283-292.
- Langford, F.F. and Blanc-Valleron, M.M. 1990. Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. total organic carbon. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, 74:799-804.
- Lo Mónaco, S., López, L., Rojas, H., Garcia, D., Premovic, P. and Briceño, H. 2002. Distribution of major and trace elements in La Luna Formation, Southwestern Venezuelan Basin. *Organic Geochemistry*, 33: 1593-1608.
- Mavridou, E., Antoniadis, P., Khanaqa, P., Riegel, W., Gentzis, T. 2003. Paleoenvironmental Interpretation of the Amynteon-Ptolemaida lignite deposit in northern Greece based on its petrographic composition. *International Journal of Coal Geology*, 56: 253-268.
- Merrill, R.K. 1991. Preface to this volume, in Merrill, R.K. (ed.), Source rock and migration processes and evaluation techniques. American Association of Petroleum Geologists, Treatise of petroleum geology, Handbook of petroleum geology, pp. 13-17.

- Moore, T.A., Schearer, J.C., Miller, S.L. 1996. Fungal origin of oxidised plant material in the Palangkaraya peat deposit, Laimantan Tenah, Indonesia: implications for 'inertinite' formation in coal. *International Journal of Coal Geology*, 30: 1 - 23.
- Morgan, M.E., Jenkins, R.G., Walker, P.L. 1981. Inorganic constituents in American lignites. *Fuel*, 60: 189-193.
- Mukhopadhyay, P.K. 1986. Petrography of selected Wilcox and Jackson Group lignites from the Tertiary of Texas. In: R.B.Finkelman and D.J. Casangrande, (Eds.). *Geology of Gulf Coast Lignites, Field Trip Guide Book*, Geological Society of America, Boulder, CO, 140 p.
- Mukhopadhyay, P.K., Wade, J.A. and Kruger, M.A. 1995. Organic facies and maturation of Jurassic/Cretaceous rocks and possible oil-source rock correlation based on pyrolysis of asphaltenes, Scotian basin, Canada. *Organic Geochemistry*, 22 (1): 85-104.
- Müller, G., Irion, G., Forstner, U., 1972 Formation and diagenesis of inorganic Ca-Mg carbonates in the lacustrine environment: *Naturwissenschaften*, 59: 158-164.
- Nicholls, G.D. 1968. The geochemistry of coal-bearing strata. In: *Coal and Coal Bearing Strata*, Murchison, D.G., and Westoll, T. S. (Eds.). Edinburgh: Oliver and Boyd, pp. 269-307.
- Orem, W.H. and Finkelman, R.B. 2003. Coal formation and geochemistry. In: *Treatise on geochemistry*. Holland H.D. and Turekian K.K. (Eds.), Elsevier, Amsterdam, 7: 191-222.
- Öncel, M.S., 1995, Şarkikaraağaç-Yalvaç (Isparta) arasının jeolojisi ve boksit zuhurlarının mineralojik, petrografik, jeokimyasal incelemesi, S.Ü., Fen Bil. Enst., doktora tezi, Konya, 147 s.
- Örmeci, S., 2005. Şarkikaraağaç Havzası'nın (Isparta) hidrojeoloji incelemesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 109 s.
- Özçelik, O., Yavuz Pehlivanlı B., Sari A., Altunsoy M., Hökerek S., Ünal N. 2016. Geochemical characteristics of major and trace elements in Sahinali Coals, Aydın, Turkey. *Energy Sources Part A-Recovery Utilization And Environmental Effects*, 38 (10): 1435-1447.
- Özgül, N. ve Gedik, L. 1973. Orta Toroslarda Alt Paleozoyik yaşta Çaltepe kireçtaşı ve Seydişehir formasyonunun stratigrafisi ve konodont faunası hakkında yeni bilgiler, *Türkiye jeol. kur. bült.*, 16: 39-52.
- Özgül, N. 1976. Torosların bazı temel jeolojik özellikleri. *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, 19 (1): 65-67.
- Özgül, N. 1984. Stratigraphy and tectonic evolution of the central Taurides: Tekeli, O. ve Göncüoğlu. M.C. (Eds.), *Geology of the Taurus Bell. MTA Yayınları*, 77-90.
- Öztürk, E.M., Öztürk, Z., Acar, Ş., Ayaroğlu, A. 1981. Şarkikaraağaç (Isparta) ve dolayının jeolojisi. MTA., Enst., Raporu, N. 7045, (yayınlanmamış), Ankara, 190 s.
- Palmer, C.A. and Filby, R.H. 1984. Distribution of trace elements in coal from the Powhatan No. 6 mine, Ohio. *Fuel*, 63: 318-328.

- Palmer, C.A., Tuncalı, E., Dennen, K.O., Coburn, T.C., Finkelman R.B. 2004. Characterization of Turkish coals: a nationwide perspective. *International Journal of Coal Geology*, 60, 85-115.
- Peters, K.E. 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rocks using programmed pyrolysis. *AAPG Bull.*, 70: 318-329.
- Peters, K.E. and Moldowan, J.M. 1993. *The Biomarker Guide Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments*. Prentice-Hall, New Jersey, 363 p.
- Peters, K.E. and M.R. Cassa. 1994. Applied source rock geochemistry. In, L.B. Magoon and W.G. Dow (Eds.), *The Petroleum System – From Source to Trap*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 60, p. 93-120.
- Petersen, H.I. 1993. Petrographical facies analysis of Lower and Middle Jurassic coal seams on the island of Bornholm, Denmark. *Int. Journal of Coal Geology*, 22: 189-216.
- Petersen, H.I. and Nielsen, L.H. 1995. Controls on peat accumulation and depositional environments of a coal-bearing coastal plain succession of a pull-apart basin; a petrographic, geochemical and sedimentological study, Lower Jurassic, Denmark. *International Journal of Coal Geology*, 27: 99-129.
- Pickel W, Kus J, Flores D, Kalaitzidis S, Christanis K, Cardott BJ, Misz-Kennan M, Rodrigues S, Hentschel A, Hamor-Vido M, Crosdale P, Wagner N, ICCP. 2017. Classification of liptinite-ICCP system 1994. *Int J Coal Geol*, 169:40-61.
- Powell, T.G., Foscolos, A.E., Gunther, P.R., Snowdon L.R. 1978. Diagenesis of organic matter and fine clay minerals: a comparative study. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42: 1181-1197.
- Querol, X., Cabrera, Ll., Pickel, W., Fernandez-Turiel, J.L., Hagemann, H.W. and Lopez-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 Lopez-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.
- Querol, X., Alastuey, A., Plana, F., Lopez-Soler, A., Tuncalı, E., Toprak, S., Ocakoğlu, F., Köker, A. 1999. Coal geology and coal quality of the Miocene Muğla basin, southwestern Anatolia Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 41: 311 - 332.
- Raask, E. 1985. *Mineral Impurities in Coal Combustion*. Hemisphere Publishing Corporation, Washington, 484 p.
- Radenovic, A. 2006. Inorganic constituents in coal. *Kem.Ind.* 55: 65-77.
- Ratynskii, V.M. and Glushnev, S.V. 1967. Relationships in the distribution of metals in coals. *Dokl. Akd. Nauk. SSSR*. 177: 236-239.
- Rudnick, R.L. and Gao, S. 2003. *Treatise on Geochemistry, Volume 3*, In: The Crust, Holland, H.D. and Turekian, K.K. (Eds.). Elsevier-Pergamon, Oxford, 683 p.

- Senkayi, A.L., Ming, D.W., Dixon, J.B. and Hossner, L.R. 1987. Kaolinite, opal-CT and clinoptilolite in altered tuffs interbedded with lignite in the Jackson Group, Texas. *Clays and Clay Minerals*, 35: 281-290.
- Shpirt, M.Y., Ratynskii, V.M., Zharov, Y.N. and Zekel, L.A. 1984. Forms of trace element compounds and their behaviour in processing coals. *Razvit. Uglekhim.* 50 Let, pp. 224-235.
- Singh, R.M., Singh, M.P. and Chandra, D. 1983. Occurrence, distribution and probable source of trace elements in Ghugas coals, Wardha Valley, district Chandrapur and Yeotmal, Maharashtra, India. *Int. J. Coal. Geol.*, 2: 371-381.
- Song, D., Qin, Y., Zhang, J., Wang, W., and Zheng, C. 2007. Concentration and distribution of trace elements in some coals from Northern China. *International Journal of Coal Geology*, 69: 179-191.
- Soo's, L., 1964. Kohlen petrographische und Kohlen chemische Untersuchungen des Melano resinits. *Acta Geol. Hung.* 8: 3-18.
- Soyaslan, İ. ve Hepdeniz, K. 2018. Beyşehir gölü havzasının yeraltısuyu akım modellenmesi esaslı hidrojeolojik özelliklerinin değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1): 63-74
- Spears, D.A., Zheng, Y. 1999. Geochemistry and origin of elements in some UK coals. *International Journal of Coal Geology*, 38: 161-179.
- Stach E., Mackowsky, M.-Th., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., Teichmüller, R. 1982. *Stach's Textbook of Coal Petrology*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 535 p.
- Swaine, D.J. 1990. *Trace Elements in Coal*. Butterworth, London, 278 p.
- Swaine, D.J. 1995. The contents and some related aspects of trace elements in coals. In: *Environmental Aspects of Trace Elements in Coal*. Swaine, D.J., Goodarzi, F. (Eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 5-23.
- Sýkorová, I., Pickel, W., Christanis, K., Wolf, M. Taylor, G.H. and Flores, D. 2005. Classification of huminite - ICCP System 1994. *Int. J. of Coal Geology*. 62: 85-106.
- Sza'decky-Kardoss, E. 1949. Über Systematik und Umwandlungen der Kohlen gemengteile. *Mitt. Berg. U. Hüttenmann. Abt. Fak. Berg-Hütten-u. Forstwesen* 17: 176-193.
- Şenel, M., Gedik, İ., Serdaroğlu, M., Bölükbaşı, A. S., Metin, S., Esentürk, K., Bilgin, A. Z., Uğuz, F. J., Korucu, M. ve Özgül, N. 1992. Eğridir-Yenişarbademli-Gebiz ve Geriş-Köprülü (Isparta-Antalya) arasında kalan alanın jeolojisi, MTA Rap. No: 9390, TPAO, Rap. No: 3132 (Yayınlanmamış), Ankara.
- Şenel, M., Gedik, İ., Dalkılıç, H., Serdaroğlu, M., Bölükbaşı, A.S., Metin, S., Korucu, M ve Özgül, N. 1996. Isparta bölümünün doğusunda otokton ve allohton birimlerin stratigrafisi (Batı Toroslar). *MTA Der.*, 118: 11- 160.
- Taka, M., Salman, M. ve Gülhan M. M. 2014. Isparta-Şarkikaraağaç 201100881 ruhsat no'lu linyit raporu. MTA. Raporu No: 4078 (yayınlanmamış), Ankara.

- Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R., Robert, P. 1998. Organic Petrology. Bornträger, Berlin, Stuttgart, 704 p.
- Teichmüller, M., Teichmüller, R. 1982. The geological basis of coal formation, In: Stach, E., et al. (Ed.), Stach's Textbook of Coal Petrology, 3 rd. Borntraeger, Berlin, pp. 5-86.
- TKİ, 2016. Türkiye Kömür İşletmeleri, Kömür Sektör Raporu (Linyit), 2016.
- Tissot, B. and Welte, D.H. 1984. Petroleum Formation and Occurrence . Springer-Verlag, Berlin, pp 699.
- Topak, Y. 2006. Yukarıtirtar-Aşağıtirtar Köyleri (Isparta Kuzeydoğusu) arasında gözlenen manyezit yatağının oluşumu ve kökeni. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 117 s.
- Toprak, S. 1996. Alpagut-Dodurga (Osmancık-Çorum) bölgesi çevresindeki kömürlerin oluşum ortamları ve özelliklerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 164 s.
- Toprak, S. 2009. Petrographic properties of major coal seams in Turkey and their formation. *International Journal of Coal Geology*, 78: 263-275.
- Tuncer, A., Karayığit, A., Oskaya, R. G., Bulut, Y., Tunoğlu, C. 2017. Şarkikaraağaç sahasında kömür içeren istifin kömür petrolojisi ve mikropaleontolojisiyle ilgili ön sonuçlar, Isparta (GB Anadolu). 70. Türkiye Jeoloji Kurultayı, s. 268, 10-14 Nisan, Ankara.
- Turgay, P. 2011. Konya-akşehir batı ve güneyindeki bazı demir oluşumlarının mineralojik ve jeokimyasal incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 175 s.
- Tyson, R.V. 1995. Sedimentary organic matter. Organic facies and palynofacies; Chapman and Hall, London, 615 p.
- Uzunov, I. and Karadzhova, B. 1968. Distribution of rare elements in a productive horizon of Burgas coal basin. *Izv. Geol. Inst. Bulg. Akad. Nauk, Ser. Geokhim., Mineral Petrogr.*, 17: 21-31.
- Ünal, 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, 80 s.
- Van Krevelen, D.W. 1961. Coal: Typology-chemistry-physics-constitution. Elsevier, Amsterdam, 515 p.
- Van Krevelen, D.W. 1993. Coal: Typology, chemistry, physics, constitution. Elsevier, Amsterdam, 979 p.
- Valkovic, V. 1983a. Trace elements in coal, vol. 1. Chem. Rubber Co. Press, Boca Raton, Fla., 210 p.
- Valkovic, V. 1983b. Trace Elements in Coal, vol. 2. Chem. Rubber Co. Press, Boca Raton, Fla., 281 p.

- Varma A. K. 1996. Facies control on the petrographic composition of inertic coals. *International Journal of Coal Geology*, 30: 327-335.
- Vassilev, V.S. and Vassileva, G.C. 1996. Occurrence, abundance and origin of minerals in coal and coal ashes. *Fuel Processing Technology*, 48: 85-106.
- Ward, C. R. 1984. Coal geology and coal technology. Blackwell, London. 345 p.
- Ward, C.R., Spears, D.A., Booth, C.A., Staton, I. and Gurba, L.W. 1999. Mineral matter and trace elements in coals of the Gunnedah Basin, New South Wales, Australia. *International Journal of Coal Geology*, 40: 281-308.
- Ward, R.C. 2002. Analysis and significance of mineral matter in coal seams. *International Journal of Coal Geology*, 50 (1-4): 135-168.
- Waples, D.W. 1985. Geochemistry in Petroleum Exploration, Boston, 232 p.
- Wedepohl, K.H. (ed.) 1969. Handbook of Geochemistry. Berlin, Springer-Verlag, 422 p.
- Wüst, R., Hawke, M., Bustin, M. 2001. Comparing macerals ratios from tropical peatlands with assumptions from coal studies do classic coal petrographic interpretation methods have to be discarded. *Int. J. Coal Geol.* 48: 115-132.
- Yağmurlu, F. 1983. Kömür oluşumunun fiziksel ve kimyasal koşulları. *Yeryuvarı ve İnsan*, 8 (2): 13-17.
- Yağmurlu, F. 1991a. Yalvaç - Yarikkaya Neojen Havzasının stratigrafisi ve depolama ortamları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 34: 9 -19.
- Yağmurlu, F. 1991b. Yalvaç- Yarikkaya Neojen Havzasının tektono-sedimanter özellikleri ve yapısal evrimi, *MTA Dergisi* 112: 1-12.
- Yavuz Pehlivanlı, B. 2011. Hırka Formasyonu (Beypazarı, Ankara, Türkiye) bitümlü şeyllerinin inorganik element depolanmaları ve organik- inorganik elementler arasındaki kökensel ilişkiler. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 332 s.
- Yudovich, Y.E. and Ketris, M.P. 2005. Arsenic in coal: a review. *International Journal of Coal Geology*, 61: 141-196.
- Zielinski, R.A. 1985. Element mobility during alteration of silicic ash to kaolinite a study of tonstein. *Sedimentology*, 32: 567-579.
- Zubovic, P., Stadnichenko, T., Sheffey, N.B. 1960. The association of some minor elements with organic and inorganic phases of coal. US Geol. Surv. Prof. Rap., No. 400-B, B84-B87.



## ÖZGEÇMİŞ

**NESLİHAN ÜNAL**  
**neslihanunalakd@gmail.com**



### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2008-2012	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2003-2008	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya

### MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Öğretim Görevlisi	Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
2018-Devam Ediyor	Göhlisar Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Coğrafi Bilgi Sistemleri Programı, Burdur
Araştırma Görevlisi	Akdeniz Üniversitesi
2009-2018	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya

### ESERLER

#### Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

Özçelik O., Altunsoy M., Yalçın Erik N., Karadirek S., Ünal N. 2017. Biomarker characteristics of Triassic Kasımlar Formation; Akseki-Anamas Platform,

Western Taurus, Turkey. Journal of Scientific and Engineering Research, 4, 141-147.

Ünal N., Özçelik O. 2017. Organic facies characteristics of the coaly units, Şarkikaraağaç Neogene Basin (Isparta/Turkey). Journal of Scientific and Engineering Research, 4, 259-265.

Özçelik O., Yavuz Pehlivanlı B., Sarı A., Altunsoy M., Hökerek S., Ünal N. 2016. Geochemical characteristics of major and trace elements in Sahinali Coals, Aydın, Turkey. Energy Sources Part A-Recovery Utilization And Environmental Effects, 38 (10), 1435-1447.

Özçelik O., Altunsoy M., Hökerek S., Ünal N., Kuşcu M. 2015. Organic facies characteristics of the Triassic Ispartacay Formation, Antalya Nappes, Western Taurus, Turkey. Procedia Earth and Planetary Science, 15, 225-230.

Altunsoy M., Özdoğan M., Özçelik O., Ünal N. 2015. Organic facies characteristics of the Pliocene coaly units, Central Anatolia, Iğın (Konya/Turkey). Energy Procedia, 33-39.

Hökerek S., Özçelik O., Ünal N., Altunsoy M., Kuşcu M. 2014. Organic facies characteristics of the Triassic Kasımlar Formation, Anamas-Akseki Platform, western Taurides, Turkey.", Energy Procedia, 150-157.

Ünal N., Hökerek S., Altunsoy M., Özçelik O., Yalçın Erik N. 2014. The Biomarker properties and comparisons of Sahinali, Beypazarı and Karapınar (Turkey) coaly Plio-Miocene depositions.", Energy Procedia, 142-149.

Varol B., Koşun E., Ünal N., Ayrancı K. 2011. Pyritized mudstone and associated facies in the Permian-Triassic boundary of the Curuk Dag section, Southern Turkey. Journal Of Asian Earth Sciences, 40, 1068-1078.

### **Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler**

Ünal N., Hökerek S., Altunsoy M., Özçelik O., Yalçın Erik N. 2014. Miyosen yaşlı Şahinali (Aydın) ve Beypazarı (Ankara) kömürlü birimlerinin biyomarker özelliklerinin karşılaştırılması. 6. Jeokimya Sempozyumu, Mersin, Türkiye, 14-17 Mayıs, ss. 270-270.

Hökerek S., Ünal N., Altunsoy M., Özçelik O. 2013. Karapınar (Konya) kömürlerinde element zenginleşmelerine bağlı olarak oluşabilecek çevresel etkilere genel yaklaşımlar. 2. Tıbbi Jeoloj Çalıştayı, Antalya, Türkiye, 4-6 Aralık, ss. 241-252.

Altunsoy M., Özçelik O., Hökerek S., Ünal N., Taka M. 2012. Karapınar (Konya) güneyindeki kömürlü Pliyosen birimlerinin organik fasiyes özellikleri. 30.Yıl Sempozyumu, Sivas, Türkiye, 11-13 Ekim, ss. 53-54.

Özçelik O., Altunsoy M., Hökerek S., Ünal N. 2012. Kömürlü Miyosen birimlerinin kuyu verilerine göre organik fasiyes değişimleri, (Şahinali-Aydın). 30.Yıl Sempozyumu, Sivas, Türkiye, 11-13 Ekim, ss. 51-52.

## **Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler**

- Ünal N. and Özçelik O. 2018. Environmental aspects of major-trace elements in Şarkikaraağaç (Isparta-Turkey) coals. 9. International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, pp. 128, 7-11 May, Antalya.
- Bayraktaroğlu A.C., Ünal N., Özçelik O. 2018. Determination of possible coals with the Neogene age formation between Niğde-Konya by using GIS. 9. International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, pp. 133, 7-11 May, Antalya.
- Ünal N. and Özçelik O. 2017. Organic facies characteristics of the Şarkikaraağaç Coaly Basin (Isparta/Turkey). 1 th International Conference on advances in Engineering Sciences (ICAES 2017), pp. 37 3-5 July, Phuket, Tayland.
- Özçelik O., Ünal N. 2017. Provenanace of the Miocene Hafik Formation sandstones (Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey)", 1 th International Conference on advances in Engineering Sciences (ICAES 2017), pp. 42, 3-5 July, Phuket, Tayland.
- Karadirek S., Ünal N., Özçelik O., Altunsoy M. 2017. Potential health and environmental effects of trace elements in Karapınar (Turkey) Coals. 1 th International Conference on advances in Engineering Sciences (ICAES 2017), pp. 25, 3-5 July, Phuket, Tayland.
- Özçelik O., Karadirek S., Altunsoy M., Ünal N. 2017. Comparision of organic facies properties of Miocene coal/coaly rocks from Soma (Manisa) and Şahinali (Aydın) Basins (Turkey). 1 th International Conference on advances in Engineering Sciences (ICAES 2017), pp. 40, 3-5 July, Phuket, Tayland.
- Özçelik O., Altunsoy M., Hökerek S., Ünal N., Kuşcu M. 2015. Organic facies characteristics of the Triassic Ispartacay Formation, Antalya Nappes, Western Taurus, Turkey. World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium, pp. 268, 7-11 September, Prague.
- Altunsoy M., Özdoğan M., Özçelik O., Ünal N. 2015. Organic facies characteristics of the Pliocene coaly units, central Anatolia, Iğın (Konya / Turkey)", European Geosciences Union General Assembly, pp. 1, 12-17 April, Vienna, Austria.
- Özçelik O., Altunsoy M., Yalçın Erik N., Hökerek S., Ünal N., Kuşcu M. 2014. Biomarker characteristics of Triassic Kasımlar Formation; Akseki-Anamas Platform, Western Taurus, Turkey. Goldschmidt 2014, pp. 1, 7-13 June, California, ABD.
- Hökerek S., Ünal N., Altunsoy M., Özçelik O., Kuşcu M. 2014. Organic facies characteristics of the Triassic Kasımlar Formation, Anamas-Akseki Platform, western Taurides, Turkey., EGU 2014-European Geosciences Union General Assembly 2014, pp. 1, 27 April- 2 May, Vienna, Austria.
- Ünal N., Hökerek S., Altunsoy M., Özçelik O., Yalçın Erik N. 2014. The biomarker properties and comparisons of Sahinali, Beypazarı and Karapınar (Turkey) coaly Plio-Miocene depositions. EGU 2014-European Geosciences Union General Assembly 2014, pp. 1, 27 April- 2 May, Vienna, Austria.

- Özçelik O., Ünal N., Hökerek S., Altunsoy M. 2013. Organic facies variation from well data on the coaly Miocene units, the western part of Turkey (Şahinali-Aydın)", 13 th International Multidisciplinary Scientific Geoconferance (SGEM 2013), pp. 141-148, 16-22 June, Albena, Bulgaria.
- Özçelik O., Altunsoy M., Hökerek S., Ünal N., Yalçın Erik N. 2013. Organic geochemical characteristics of the coaly Miocene units in the Şahinali (Aydın) region, Büyük Menderes Graben, Turkey. Goldschmidt 2013, pp. 1906, 25-30, August, Florence, Italy.
- Altunsoy M., Şengüler İ., Ünal N., Hökerek S., Özçelik O. 2013. Organic facies variation from well data on the bituminous Miocene units, Northwestern Anatolia (Sevinç/Ağapınar-Eskişehir), Turkey. Goldschmidt 2013, pp. 582 25-30, August, Florence, Italy.
- Altunsoy M., Şengüler İ., Hökerek S., Ünal N., Özçelik O. 2013. Organic geochemical characteristics of the bituminous Miocene units in the Sevinç-Ağapınar region, Eskişehir Graben, Turkey", 13 th International Multidisciplinary Scientific Geoconferance (SGEM 2013), pp.149, 16-22, June, Albena, Bulgaria.