

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DODURGA (ÇORUM) HAVZASI BİTÜMLÜ ŞEYLLERİNİN PALEOREDOKS
KOŞULLARININ İNCELENMESİ**

Pelin AKKAYA

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA

2016

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Pelin Akkaya tarafından hazırlanan “Dodurga (Çorum) Havzası Bitümlü Şeylerinin Paleodoks Koşullarının İncelenmesi” adlı tez çalışması 11/03/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ali SARI

Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof. Dr. Aynur BÜYÜKUTKU
Ankara Üniversitesi / Jeoloji Mühendisliği

Üye : Prof. Dr. Ali SARI
Ankara Üniversitesi / Jeoloji Mühendisliği

Üye : Yrd. Doç. Dr. Berna YAVUZ PEHLİVANLI
Bozok Üniversitesi / Jeoloji Mühendisliği

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim DEMİR
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

Mart 2016



Pelin AKKAYA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DODURGA (ÇORUM) HAVZASI BİTÜMLÜ ŞEYLERİNİN PALEOREDOKS KOŞULLARININ İNCELENMESİ

Pelin AKKAYA

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Ali SARI

Çalışma alanı Çorum'un Dodurga ilçesine bağlı olup organik maddece zengin kayaların depolanma ortamı redoks koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. İnceleme alanındaki istif: Geç Kretase yaşlı tektonik melanj, Paleosen yaşlı türbiditler, Geç Eosen yaşlı Deliceirmak Formasyonu, Erken Oligosen yaşlı İncik Formasyonu ve Geç Oligosen yaşlı birbirine geçişli Güvendik ve Kızılırmak Formasyonları üzerinde Miyosen yaşlı kömür içeren Hançili ve Bayındır Formasyonları, Pliyosen yaşlı Bozkır ve Değim Formasyonları ve Kuvaterner oluşukları şeklindedir. Çalışmanın yapıldığı Hançili Formasyonu Miyosen yaşlı olup hakim litolojisini kilaşı, bitümlü şeyl, bitümlü marn ve kömürler oluşturmaktadır. İncelenen organik kökenli kayalar (bitümlü şeyl ve bitümlü marn) ortalama %6, kömürler ise %38 TOC değerlerine sahiptirler.

Mo, Mn, Ni, V, U, Cr, Co, Sc gibi çeşitli iz elementler paleoredoks koşullarını değerlendirmek için kullanılmaktadır. $V/(V+Ni)$, V/Cr , Ni/Co , V/Sc , U/Th , Th/U , Mo/Mn gibi oranlar elementlerin jeokimyasal davranışlarına bağlı olarak depolanma sırasındaki redoks koşullarını belirtirler. Bu çalışmada, oranlar hesaplanmış ve Dodurga havzasının paleoredoks ortam koşulları çeşitli diyagramlardan yararlanılarak yorumlanmıştır. Ayrıca, C_{org} -S-Fe ilişkileri de depolanma ortamı paleoredoks koşullarını değerlendirmek için kullanılmıştır. Dodurga sahasına ait örneklerin S-Fe ve C_{org} ilişkileri araştırılmıştır. Bütün jeokimyasal veriler bir göl havzası olarak kabul edilen Dodurga Havzasının çoğunlukla oksik ve disoksik koşullarda geliştiğini göstermektedir.

Mart 2016, 94 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bitümlü şeyl, bitümlü marn, iz element, organik karbon, paleoredoks koşullar, Çorum

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF PALEOREDOX CONDITIONS OF DODURGA (ÇORUM) BASIN'S BITUMINOUS SHALES

Pelin AKKAYA

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Geological Engineering

Advisor: Prof. Dr. Ali SARI

The determination of organic matter rich rocks deposited Dodurga Basin (Çorum) is proposed in this study. In the study area, the sequence of formations from old to young is Late Cretaceous aged tectonic melange, Early Paleocene aged turbiditic and submarine deposits, Late Eocene Deliceirmak limestones, Early Oligocene İncik Formation, Late Oligocene aged Kızılırmak and Güvendik Formations, Miocene aged Hançili and Bayındır Formation, Pliocene aged Bozkır and Değim Formations and Quaternary units. Studied Hançili Formation that is Miocene aged, mostly formed clay stone, bituminous shale, bituminous marl and coal. Organic source rocks (bituminous shale and bituminous marl) have an interval 6% and 38% (for coals) TOC values and have rich organic matter content in terms of source rock potential.

Different elements such as Mo, Mn, Ni, V, U, Cr, Co, Sc are used for the assessment of paleoredox conditions. Ratios such as $V/(V+Ni)$, V/Cr , Ni/Co , V/Sc , U/Th , Th/U , Mo/Mn imply redox conditions during deposition associated with geochemical behaviour of elements. In this study, these ratios are calculated and paleoredox conditions of Dodurga Basin annotated by different diagrams. Moreover, C_{org} -S-Fe relations are used for the assesment depositional environment's redox conditions. The sulphur rate is an indicator of sulphiditic features and also it is an important sign of organic matter preservation. The relations between S-Fe and Corg of samples from Dodurga area (study area) are investigated. Consequently, the relations are compatible.

March 2016, 94 pages

Key Words: Bituminous rock, rare earth elements, organic matter, organic carbon, trace element, Çorum

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince beni yönlendiren, bilgi, öneri ve yardımlarını benden esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Ali SARI'ya (Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı), çalışma arkadaşlarım Arash Vosoughi MORADI'ye ve Ahmad Fahim ATTAR'a, her zaman yanımda olup beni destekleyen aileme ve tez yazımı aşamasında benimle beraber emek veren arkadaşlarım Deniz SONGUR'a, ÇağrıTUNCA'ya, Cumhur Özcan KILIÇ'a ve Ecenur BULUR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması BAP tarafından desteklenen proje (13B4343011) çalışması kapsamında hazırlanmış olup, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Pelin AKKAYA

Ankara, Mart 2016

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
ETİK	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
Kısaltmalar	vi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	1
1.2 Coğrafi Konum	1
1.3 Önceki Çalışmalar	2
1.4 Materyal ve Yöntem	4
1.5 Arazi çalışmaları	4
1.6 Laboratuvar çalışmaları.....	5
1.7 Element analizleri	6
1.8 Piroliz analizi (Rock Eval)	7
1.9 XRD analizi	9
1.10 Büro Çalışmaları.....	10
2. GENEL JEOLJİ	11
2.1 Tektonik Ünite.....	16
2.2 Derin Deniz Birimleri	16
2.3 Deliceirmak Formasyonu	16
2.4 İncik Formasyonu	16
2.5 Güvendik Formasyonu	17
2.6 Kızılırmak Formasyonu	17
2.7 Haççili Formasyonu	18
2.8 Bayındır Formasyonu.....	21
2.9 Volkanitler	21
2.10 Bozkır Formasyonu	21
2.11 Değim Formasyonu.....	21
3. ANALİZ VE BULGULAR.....	22
3.1 Bitümlü Şeyl Kavramı	23
3.2 Bitümlü Şeyllerin Yaşı ve Dünyadaki Dağılımları.....	25
3.3 Toplam Organik Madde Miktarı (% wt TOC).....	27
3.4 Organik Madde Tipi.....	30
4. DEPOLANMA ORTAMI REDOKS KOŞULLARI	36
4.1 C-S-Fe İlişkisi	36
4.2 Depolanma Ortamı Redoks Koşullarının Mineral Bileşimine Etkisi	48
4.3 Depolanma Ortamı Paleoredoks Parametreleri	69
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	85
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	93

SİMGELER DİZİNİ

Co	Kobalt
C_{org}	Organik karbon
Cr	Krom
Fe	Demir
Mn	Mangan
Mo	Molibden
Ni	Nikel
P	Fosfor
r²	Korelasyon katsayısı
S	Kükürt
Sc	Skandiyum
Th	Toryum
U	Uranyum
V	Vanadyum

Kısaltmalar

ÖSK	Ölçülü stratigrafik kesit
TOC	Toplam organik karbon (%)
TOT/C	Total karbon (%) – (Organik+inorganik karbon)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Çalışma alanının yer bulduru haritası	1
Şekil 1.2	ICP-MS cihazı.....	6
Şekil 1.3	Rock-Eval VI cihazı.....	7
Şekil 1.4	Organik madde analizinden elde edilen parametreler.....	8
Şekil 1.5	XRD cihazı	10
Şekil 2.1	Bölgenin stratigrafik kolon kesiti (Karadenizli, 2011'den değiştirilmiştir)	12
Şekil 2.2	AP ÖSK'ya ait kolon kesit (AP 84-100 arası).....	13
Şekil 2.3	AP ÖSK'ya ait kolon kesit (AP 31-84 arası).....	14
Şekil 2.4	Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Özçelik vd. 1993'ten değiştirilmiştir).....	15
Şekil 2.5	Kömür içeren Hançili Formasyonu.....	19
Şekil 2.6	Ostracod ve gastropod fosilleri içeren, kiltaşlarıyla yataklanmış Hançili Formasyonu	20
Şekil 3.1	Organik madde korunumu	22
Şekil 3.2	Çorum Dodurga bitümlü şeylleri bünyesinde görülen balık ve yaprak fosilleri	24
Şekil 3.3	Koloni halindeki alglerin mikroskopik görüntüsü (Durand 1980).	32
Şekil 3.4	Süngerimsi organik maddenin mikroskopik görüntüsü (Durand 1980)	32
Şekil 3.5	Odunsu kalıntının mikroskopik görüntüsü (Durand 1980).....	33
Şekil 3.6	Tip IV kerojenin mikroskopik görüntüsü (Durand 1980).....	33
Şekil 4.1	Oksik koşullar altında organik madde korunumunu özetleyen şematik kesit (Sarı vd. 2014).	36
Şekil 4.2	AP ÖSK tüm kayaç örneklerine ait S-Fe ve TOT/C ilişkileri	39
Şekil 4.3	AP ÖSK organik maddeli örneklere ait S-Fe ve Corg ilişkileri	40
Şekil 4.4	MD ÖSK tüm kayaç örneklerine ait S-Fe ve TOT/C ilişkileri	41
Şekil 4.5	MD ÖSK organik maddeli örneklere ait S-Fe ve Corg ilişkileri	42
Şekil 4.6	Genel Corg-S-Fe ilişkisi (Dean vd. 1989, Arthur vd. 1994).....	43
Şekil 4.7	Dodurga sahasına ait ösk örneklerinin S-Fe ve Corg ilişkileri	44
Şekil 4.8	Pirit-S-Corg arasındaki genel ilişki (Lyons vd., 2003).....	45
Şekil 4.9	Dodurga sahasına ait AP ÖSK'da incelenen örneklerin S-C _{org} , Fe ₂ O ₃ -C _{org} ve S-Fe ilişkileri.....	46
Şekil 4.10	Dodurga sahasına ait MD ÖSK'da incelenen örneklerin S-C _{org} , Fe ₂ O ₃ -Corg ve S-Fe ilişkileri.....	47
Şekil 4.11	Kayaç bileşenleri ve depolanma ortamlarının redoks ilişkileri	48
Şekil 4.12	AP 31 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	51
Şekil 4.13	AP 34 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	52
Şekil 4.14	AP 37 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	53
Şekil 4.15	AP 42 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	54
Şekil 4.16	AP 46 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	55

Şekil 4.17 AP 53 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	56
Şekil 4.18 AP 56 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	57
Şekil 4.19 AP 65 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	58
Şekil 4.20 AP 67 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	59
Şekil 4.21 AP 72 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	60
Şekil 4.22 AP 79 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	61
Şekil 4.23 AP 81 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	62
Şekil 4.24 AP 83 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	63
Şekil 4.25 AP 85 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	64
Şekil 4.26 AP 87 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	65
Şekil 4.27 AP 90 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	66
Şekil 4.28 AP 94 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	67
Şekil 4.29 AP 98 numaralı örneğe ait XRD Difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi	68
Şekil 4.30 Oksik-anoksik, sülfidik olmayan-anoksik, zayıf sülfidik-sülfidik koşullar altında redoksa duyarlı/sülfidit oluşturan elementler olan Mo, Cd, Zn, V, Fe, Mn, P ve organik maddenin davranışları (März 2007).....	69
Şekil 4.31 Redoksa duyarlı elementlerin disoksik, anoksik, öksinik fasiyeslerdeki davranışları (Algeo vd. 2004).	71
Şekil 4.32 Paleoredoks koşullarını değerlendirmede kullanılan elementler ve temsil ettikleri ortamlar (Sarı vd. 2014).	73
Şekil 4.33 AP ÖSK Ni/Co ve V/Cr.....	75
Şekil 4.34 AP ÖSK V/(V+Ni) ve U/Th grafiği.....	76
Şekil 4.35 AP ÖSK V/Sc ve Mo/Mn grafiği.....	77
Şekil 4.36 AP ÖSK Th/U grafiği	78
Şekil 4.37 MD ÖSK Ni/Co ve V/Cr grafiği.....	79
Şekil 4.38 MD ÖSK V/(V+Ni) ve U/Th grafiği	80
Şekil 4.39 MD ÖSK V/Sc ve Mo/Mn grafiği	81
Şekil 4.40 MD ÖSK Mo/Mn grafiği	82
Şekil 4.41 Sonuçlardaki ortam değişikliklerini açıklayan şematik kesit (Sarı vd. 2014).....	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Çalışma alanından alınan örneklerin analiz dağılımları.....	5
Çizelge 3.1 Bitümlü şeyllerin bileşimi.....	23
Çizelge 3.2 Çeşitli araştırmacılara göre TOC değerlendirmeleri.....	28
Çizelge 3.3 Hańçili Formasyonuna ait TOC deęerlendirmeleri.....	28
Çizelge 3.4 Çalışma bölgesine ait Rock-Eval analizinden elde edilen sonuç ortalamaları	30
Çizelge 3.5 Kerojen Tiplerinin Kaynağı ve Karakteristikleri (Wignall 1994; Potter vd. 2005).	31
Çizelge 3.6 Kerojen tipleri ve karakteristikleri (Barker 1979)	34
Çizelge 3.7 S ₂ /S ₃ Parametresine göre organik madde tipi (Peters vd. 1994).....	35
Çizelge 4.1 XRD analizinden elde edilen kil dışı mineral bileşimleri.....	49
Çizelge 4.2 XRD analizinden elde edilen kil mineralleri ve yüzde (%) oranları.....	50
Çizelge 4.3 Paleoredoks ortam işaretçileri.....	72
Çizelge 4.4 İncelenen örneklerin paleoredoks parametrelerinin ortalama değerleri.....	83
Çizelge 4.5 İncelenen ÖSK'ların redoks ortam belirteçlerine göre değerlendirmeleri.....	83

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Türkiye’de bugüne kadar petrol üretimleri ve aramaları özellikle Kretase ve öncesi birimler üzerinde yapılmakta olup, Eosen ve daha genç birimler üzerinde arama ve üretim çalışmaları oldukça azdır. Bu tez çalışmasının başlıca amacı; Dodurga civarında yüzlek veren ve organik maddece zengin olan Miyosen yaşlı bitümlü kayaçların içerdiği organik madde miktarını, türünü, kaynak kaya litolojilerini tespit etmek olup, esas olarak depolanma ortamı redoks koşulları incelemesi yapılarak çökelim ortamını belirlemektir.

1.2 Coğrafi Konum

Çalışma alanı, Çorum G33 a2 paftası içinde yer almakta olup, batıda Çankırı ile doğuda Amasya illeri arasında bulunur ve doğudan batıya doğru akan Kızılırmak nehrinin oluşturduğu vadide yer almaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası

1.3 Önceki Çalışmalar

Çorum Havzası ile ilgili olarak yapılan önceki çalışmalar genel jeoloji, tektonik ve paleocoğrafya gibi konular olup bölgedeki organik kayaçlar hakkında oldukça az sayıda çalışma mevcuttur. Bölgedeki bitümlü kayaçlar konusundaki bu tez çalışmasının, ilerleyen çalışmalara kılavuzluk sağlayacağı öngörülmektedir.

ARAŞTIRMACI	TARİH	ÇALIŞMA KONUSU	ÇALIŞMA ALANI
Mustafa Sevin, Mehmet Fuat Uğuz	2013	1:100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Çorum-G33 Paftası	Çorum, Türkiye
Yasemin Aslan, Aydın Büyüksaraç, Nazan Yalçın Erik, Attila Ayfe, Abdullah Ateş	2013	Geophysical Investigation and Hydrocarbon Potential of Çankırı-Çorum Basın	Çankırı-Çorum, Türkiye
Reyhan Kara-Gülbay, Sadettin Korkmaz	2013	Organic Geochemistry of The Asphaltite Occurrences in the Gümüşhacıköy (Amasya) Area	Gümüşhacıköy (Amasya), Türkiye
Levent Karadenizli	2011	Oligocene to Pliocene Palaeogeographic Evolution of The Çankırı-Çorum Basın	Orta Anadolu, Türkiye
Ozkan Huvaz	2009	Comparative Petroleum Systems Analysis of Tte Interior Basins of Turkey: Implications Ffr Petroleum Potential	Türkiye

İzzet Hoşgör, Yavuz Okan	2006	Çankırı Havzası'nda (Orta Anadolu, Türkiye) Erken Orta Eosen (Orta-Geç Küviziyen) Annelid polychaete Rotularia spirulaea Lamarck, 1818	Orta Anadolu, Türkiye
Nizamettin Kazancı, Şevket Şen, Gürol Seyitoğlu, Louis De Bonis, Geneviève Bouvrain, Hakan Araz, Baki Varol, Levent Karadenizli	1999	Geology of a New Late Miocene Mammal Locality in Central Anatolia, Turkey	Orta Anadolu, Türkiye
Hüseyin Yalçın, Şenol Karşlı	1998	Dodurga (Çorum) Kömür Havzasında Karbonat ve Smektit Minerallerinin Kökeni ve Diyajenetik Evrimi	Çorum, Türkiye
Selami Toprak	1996	Alpagut-Dodurga (Osmancık-Çorum) Bölgesi Çevresindeki Kömürlerin Oluşum Ortamları ve Özelliklerinin Belirlenmesi	Çorum, Türkiye
Hüseyin Uğur	1994	Çorum-Osmancık-Dodurga-Alpagut Linyit Sahasının Jeoloji Raporu	Çorum, Türkiye
Yakup Özçelik, Can Savun	1993	İskilip-Osmancık-Çorum-Sungurlu Arasındaki Alanın Jeolojisi ve Petrol Olanakları	Orta Anadolu, Türkiye
Mehmet Taka, İlker Şengüler, Dr.Mehmet Şener	1992	Dodurga (Çorum) Yöresi Bitümlü Şeyllerinin Jeolojisi ve Kullanım Olanakları	Çorum, Türkiye

Hasan Kara, Halil Erten, Bilgi Gürsoy, Abdullah Karaosmanoğlu, Necla Güçlüer, Nurettin Polat	1990	Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Çorum-Osmancık-Dodurga-Alpagut Linyit Sahasının Jeoloji Raporu	Çorum, Türkiye
Kemal Karaca	1986	Çorum-Alpagut-Ayvaköy Linyit Sahası Değerlendirme Raporu	Çorum, Türkiye
Dr. H. Wedding	1966	Dodurga (Alpagut-Çorum) Sahasındaki Kömür Zuhurlarının Yeni Etütleri Hakkında Rapor	Çorum, Türkiye

1.4 Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada Dodurga (Çorum) civarında yer alan organik madde içeren kayaçların organik karbon miktarları, organik madde tipleri, iz element içerikleri ve bunların organik karbonla olan ilişkilerini değerlendirmek ve havzanın paleoredoks koşullarını ortaya çıkartmak için arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları yapılmıştır.

1.5 Arazi çalışmaları

Arazi çalışmaları Dodurga civarında 2013 Ağustos ve Eylül ayında yapılmış, farklı noktalarda yüzlek veren organik maddece zengin kayaçlar üzerinde yoğunlaşmıştır. Çalışma alanında 3 noktada ölçülü stratigrafik kesitler yapılarak sistematik örnek alımları ile fotoğraflamalar yapılmıştır.

- **Kömürlü ÖSK:** Dodurga kömür ocağı olarak adlandırılan bölgeden alınmıştır ve 30 adet örnek derlenmiştir (koordinatlar: başlangıç 24336-48958; bitiş 23823-48685).
- **AP (Alpagut) ÖSK:** Kömürlü ÖSK'nın devamında tavana doğru 70 adet daha örnek alınarak oluşturulmuştur (koordinatlar: başlangıç 24336-48958; bitiş 23823-48685).
- **MD (Maden deresi) ÖSK:** Dodurga ilçesinin kuzeyinde, başlangıç koordinatları 22944-49231; bitiş koordinatları 23067-49144 arasında yer almıştır. 69.5 m'lik kesit ölçülmüş ve 17 adet örnek alınmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında AP ve MD ÖSK bitümlü kayaçları çalışılmıştır.

1.6 Laboratuvar çalışmaları

Çalışma alanından derlenen örnekler üzerinde aşağıdaki laboratuvar çalışmaları uygulanmıştır (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1 Çalışma alanından alınan örneklerin analiz dağılımları

ÖSK	Element Analizi	Piroliz	Gaz Kromatografi (GC)	GC-MS	XRD	Organik Petrografi	¹³ C/ ¹² C İzotop Analizi	Gama radyoaktivite analizleri
AP	70	41	6	6	18	12	8	34
MD	17	5	0	0	0	0	0	0
Toplam	87	46	6	6	18	12	8	34

Bu tez çalışması kapsamında element, piroliz ve XRD analizlerinin verileri kullanılmıştır ve değerlendirilmiştir.

1.7 Element analizleri

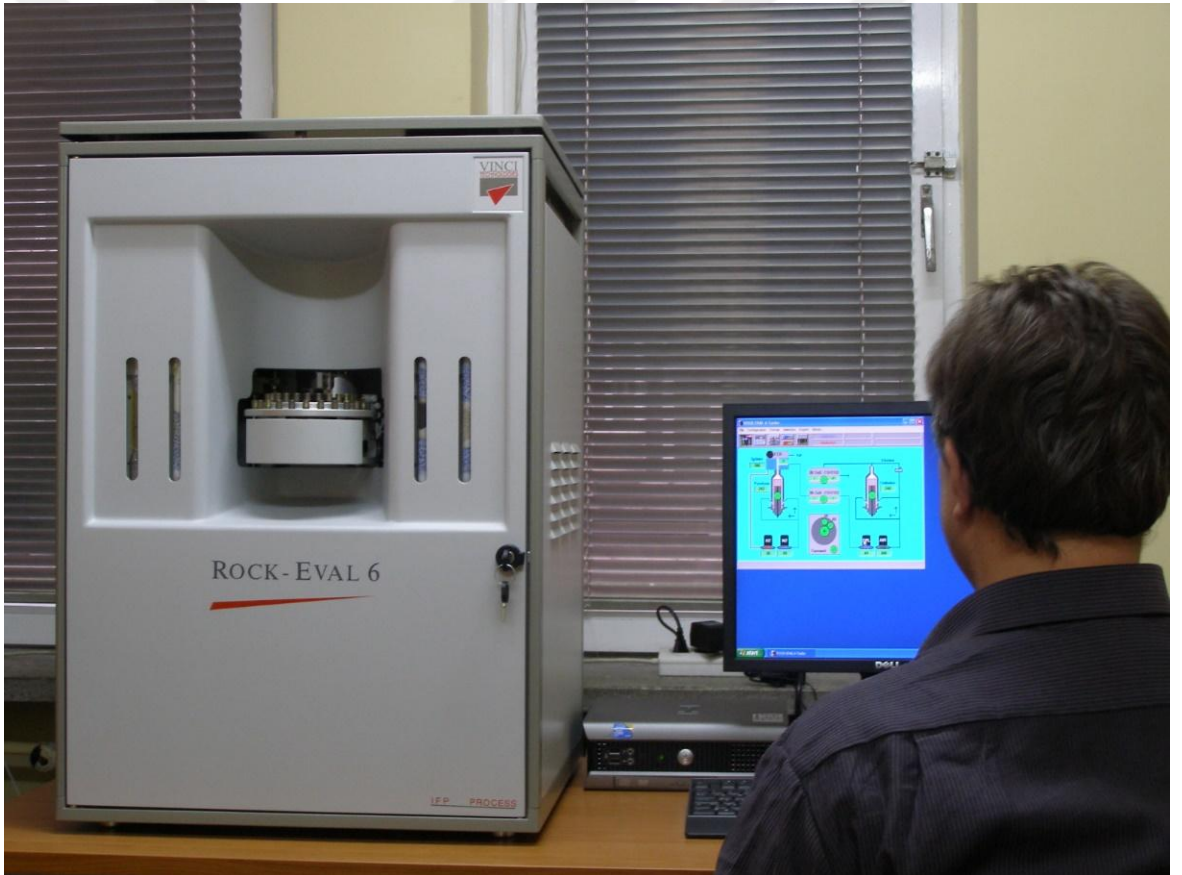
Çalışma alanından derlenen 87 adet örneğin majör ve iz element tayinleri amacıyla ACME Analytical Laboratories Ltd.'da ICP-ES ve ICP-MS teknikleri ile yapılmıştır (Şekil 1.2). Toplam majör oksitler lityum metaborat/tetraborat füzyon ve nitrik parçalama seyreltilmesi şeklinde ICP-ES ile analiz edilmiştir. LOI (Loss on ignition) 1000°C'de yakılma sonrası ağırlık farkıdır. Nadir toprak elementler ve iz elementler lityum metaborat/tetraborat füzyon ve nitrik parçalama seyreltilmesi şeklinde ICP-MS ile analiz edilmiştir.



Şekil 1.2 ICP-MS cihazı

1.8 Piroliz analizi (Rock Eval)

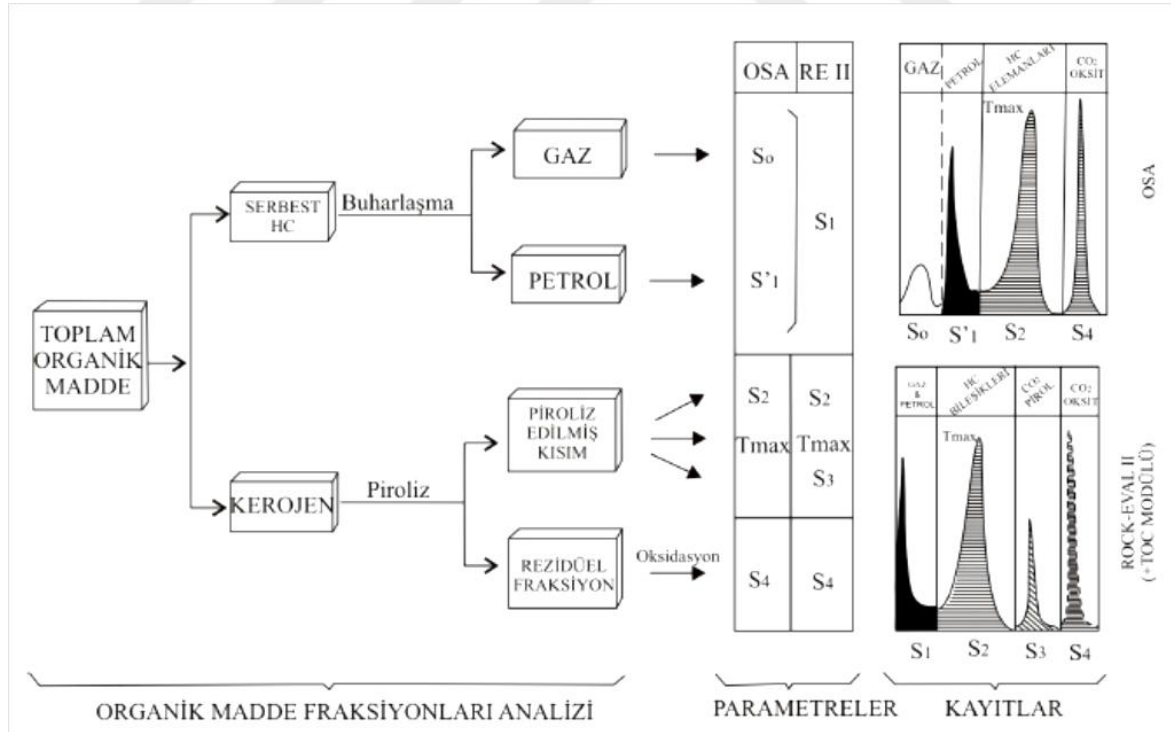
Çalışma alanından toplanan organik maddece zengin olduğu düşünülen 46 adet örnek üzerinde, toplam organik karbon miktarının, organik madde tiplerinin ve olgunlaşmalarının belirlenmesi için Rock-Eval VI cihazı, IFP 160000 (Institut Français du Pétrole) standardı kullanılarak Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) laboratuvarlarında piroliz analizleri yapılmıştır (Şekil 1.3). Bu analizle TOC (Toplam Organik Karbon), S₁, S₂, S₃, T_{max}, HI (Hidrojen İndeks), OI (Oksijen İndeks), PI (Üretim İndeksi), RC (Rezidüel Karbon), PC (Piroliz Edilebilen Karbon) değerleri elde edilmiştir.



Şekil 1.3 Rock-Eval VI cihazı

Kayacın küçük bir kısmı (100 mg), 3 dakika için 300°C Helyum atmosferi altında ısıtılır, sonra sıcaklık 25°C/dk'dan 600°C'ye kadar artırılır. Isınma süresince gerçekleşen adımlar (Şekil 1.4);

- Organik maddede bulunan serbest hidrokarbonlar, petrol ve gaz yaklaşık 300°C'de buharlaşır. 3 dakikalık aralıklar ile bu termo-buharlaşma pik verir. Bu pik, **S₁ piki** olarak adlandırılır ve mg HC/g kayaç olarak ifade edilir.
- 300 ile 600°C arasında, hem kayaçtaki kerojenin parçalanma süresince açığa çıkanlar hem de resin ve asfaltenler gibi ağır ekstrakt edilebilen bileşikler açığa çıkar. Bu hidrokarbonlar **S₂ pikini** oluşturur. S₂, kayaçta mg HC/g kaya şeklinde ifade edilir.
- 300 ile 390°C arasında oksijen bileşikleri ayrıştırır ve CO₂ sonucu mg CO₂/g kayaç olarak ifade edilen **S₃ piki** ölçülür.
- S₂ pikinin maksimum olduğu nokta maksimum sıcaklık olarak isimlendirilip, **T_{max} °C** ile ifade edilir.
- S₂ piki (C_R) kaydından sonra kalan organik karbon 600°C hava (veya oksijen) atmosferi altında oksidasyon ile ölçülür. Elde edilen CO₂, **S₄ pikidir**, kayaçta mg CO₂/g kayaç olarak ifade edilir. Toplam organik karbon (TOC % ağırlık olarak ifade edilir) S₁, S₂ ve S₄'den otomatik olarak hesaplanır.



Şekil 1.4 Organik madde analizinden elde edilen parametreler

- **HI (Hidrojen İndeksi) parametresi**, kerojenin hidrojen zenginliğini gösteren bir parametre olup, S_2 (ppm) / TOC x 100 ile ifade edilir.
- **OI (Oksijen İndeksi) parametresi ise**, kerojenin oksijen zenginliğini gösterir ve S_3 (ppm) / TOC x 100 ile ifade edilir.
- **PI (Üretim İndeksi) parametresi**, kayanın içinde hazır halde bulunan sıvı hidrokarbon oranını göstermekte olup, $S_1 / (S_1 + S_2)$ ile ifade edilmektedir.
- **RC (Rezidüel Karbon) parametresi**, piroliz işlemi esnasında CO ve CO₂'den elde edilen organik karbonun (wt %) toplamını gösterir. Rezidüel karbon aynı zamanda piroliz edilemeyen organik karbonu gösteren TOC bölümü olarak da tanımlanabilir (Johannes vd. 2006).
- **PC (Piroliz Edilebilen Karbon) parametresi ise**, toplam organik karbonun piroliz edilebilen kısmı olarak tanımlanır.

1.9 XRD analizi

Şeyllerin mineralojik kompozisyonları X-ışını analizi ile kolayca yorumlanabilmektedir. Çalışma alanındaki örneklerin XRD tüm kaya ve kil analizleri kullanılarak Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) laboratuvarlarında yapılmıştır. 18 adet örnek de hem tüm kaya hem kil mineralojisi analiz edilmiştir. XRD tüm kaya Cu X-ışını tüplü Bruker D8 Advance XRD analiz cihazı ile 2-70° arasında gerçekleştirilirken, detay kil analizi için X-ışını tüplü Bruker D8 Advance XRD analiz cihazı ile 2-30° arasında gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.5). Elde edilen toz difraktogramlar üzerinde mineral tanımlamaları ASTM (1972) kartlarına göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1.5 XRD cihazı

1.10 Büro Çalışmaları

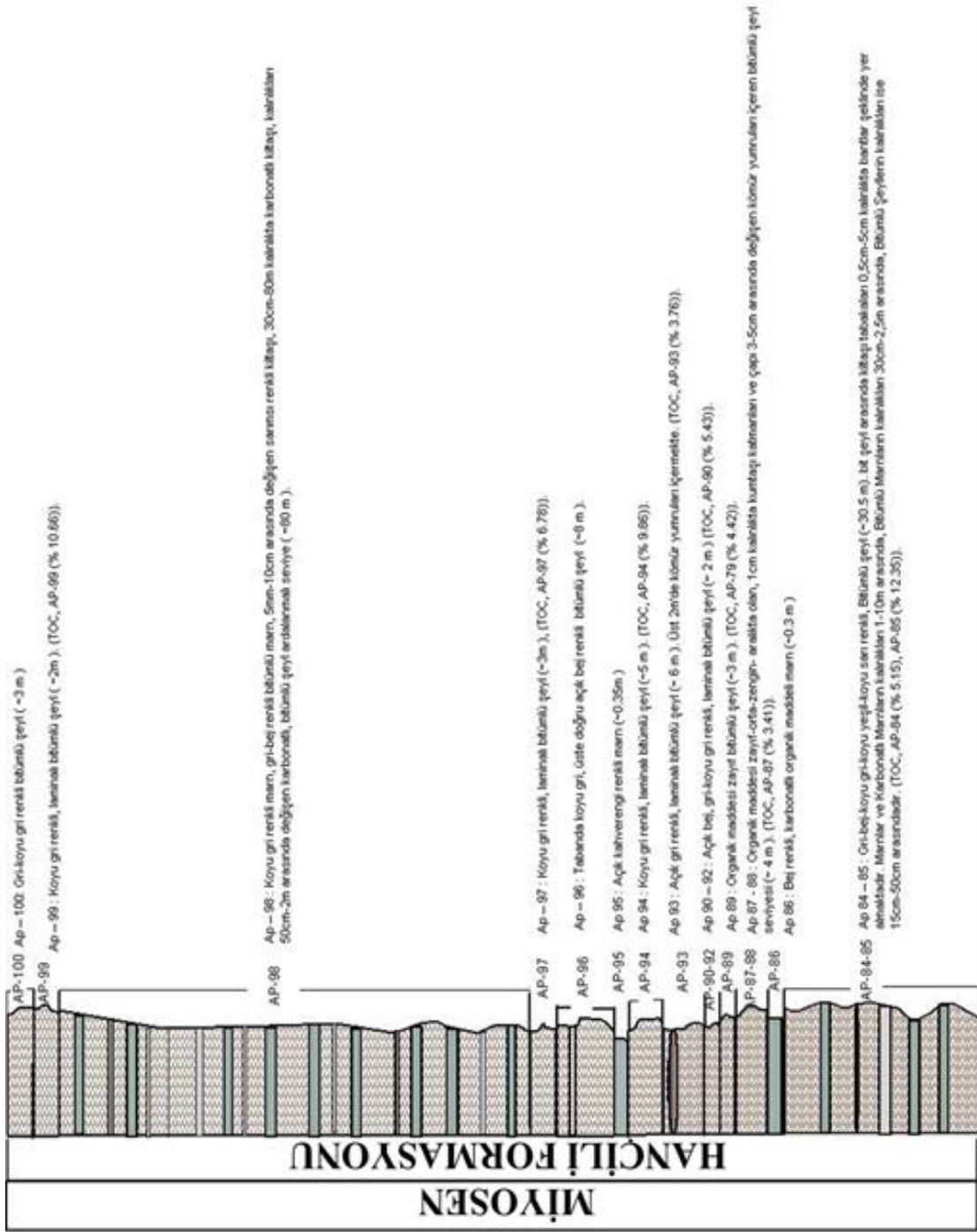
Arazi ve laboratuvarında elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması büro çalışmalarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar, ulusal ve uluslararası çeşitli literatürün taranması, arazi çalışmasından elde edilen ölçülü stratigrafik kesitlerin çizimleri, jeoloji harita çizimleri, elde edilen verilerin çizelge ve şekillere aktarılarak yorumlamaların yapılması ve tez yazımını kapsamaktadır.

2. GENEL JEOLojİ

Çalışma alanı Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimlerden oluşmaktadır. İnceleme alanının en yaşlı birimleri olan Geç Kretase yaşlı tektonik üniteler üzerinde uyumsuz olarak Senozoyik yaşlı Erken Paleosen türbiditleri ve bunların üzerinde de yine uyumsuz olarak Geç Eosen yaşlı fosilli kireçtaşları yer alır (Şekil 2.1). Erken Oligosen yaşlı kumtaşı-konglomera içeren İncik Formasyonu altındaki fosilli kireçtaşlarını uyumsuzlukla örterken, üzerindeki Geç Oligosen yaşlı ve birbirleriyle geçişli kumtaşı-konglomera içeren Kızılırmak ve jipsli Güvendik Formasyonları ile uyumludur. Kömür içeren Miyosen Hançili Formasyonu kıltaşı, organik maddece zengin bitümlü şeyl ve bitümlü marn içerir (Şekil 2.2-2.3). Geç Miyosen yaşlı evaporitik kayaçlarca zengin Bayındır Formasyonu, Hançili Formasyonunu uyumlulukla örter. Bunların üzerine uyumlu olarak Pliyosen yaşlı Bozkır Formasyonu, uyumsuz olarak da Değim Formasyonu gelir. Bunların da üzerinde Neojen çökelleri ve alüvyonlar yer alır (Şekil 2.4).

ZAMAN	SİSTEM	DÖNEM	EVRE/ KAT	FORMA SYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR			
SENOZOYİK	TERSİYER	NEOJEN	PLEİSTOSEN	ALÜVYON	Alluvium	Alüvyon			
					165m	Kahverengi, sarımsı renkli çakıltı, çamurtaşı ve kumtaşı			
			PLİYOSEN	Değim	750m	Sülfatlar, karbonatlar ve silikatlar			
					Bozkır	280m	Tabakalı jips, lamineli kilitaşı, tabakalı kumtaşı ve masif tabakalı çamurtaşı		
						Bayındır	400m	Kilitaşı, marn, organik maddece zengin kilitaşı, masif marn, fosilli kireçtaşı, bitümlü şeyl ve kömür	
			MİYOSEN	Haççılı	GEÇ				
					ORTA				
					ERKEN				
			PALEOJEN	OLİGOSEN	GEÇ	Kızılırmak		125m	
						Güvendik			500m
				EOSEN	GEÇ	İncik			1200m
PALEOSEN	ERKEN	Deliceirmak							
						GEÇ			
MEZO ZOYİK	KRETASE	GEÇ	Tektonik Birimler			Ofiyolitik melanj, yastık lavlar, yeşil renkli tüf ve tüfitler, serpantin, split, radyolarit			

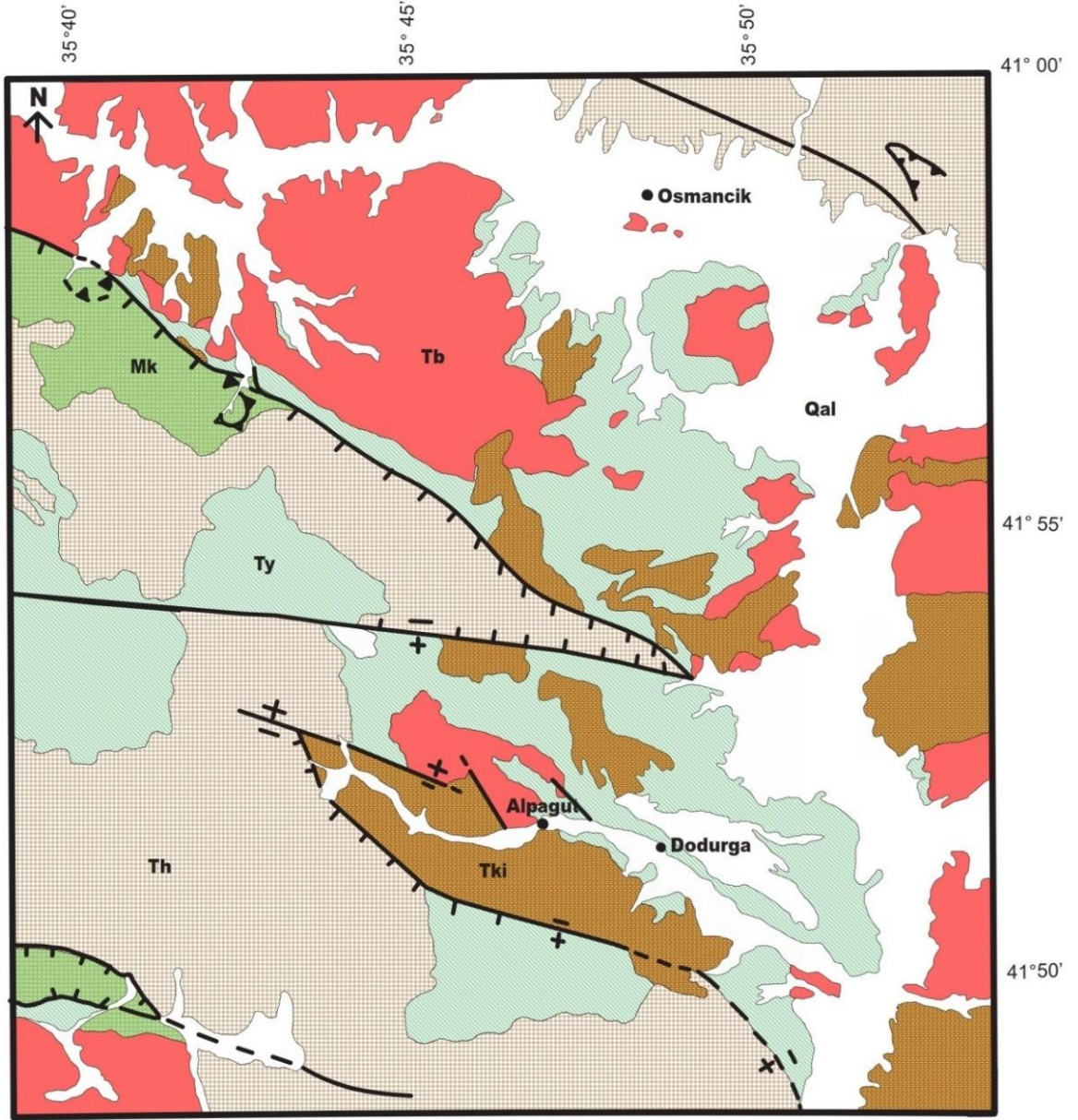
Şekil 2.1 Bölgenin stratigrafik kolon kesiti (Karadenizli 2011'den değiştirilmiştir)



Şekil 2.2 AP 84-100 arası kolon kesit



Şekil 2.3 AP 31-84 arası kolon kesit



Şekil 2.4 Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Özçelik vd. 1993'ten değiştirilmiştir)

1. Alüvyon, 2. Haçlı Formasyonu, 3. Kızılırmak Formasyonu, 4. Güvendik Formasyonu, 5. İncik Formasyonu, 6. Tektonik Ünite

2.1 Tektonik Ünite

Çalışma alanındaki en yaşlı birim (Geç Kretase) olup, inceleme alanının batısında yüzlek vermektedir. Genel olarak güneyde gnays, kuvars şist ile, kuzeyde ise ofiyolitik melanj ile temsil edilir (Karadenizli 2011).

2.2 Derin Deniz Birimleri

Derin denizi temsil eden ve henüz adlandırılmamış bu birim, Geç Eosen yaşlı türbiditlerden oluşur (Karadenizli 2011).

2.3 Deliceirmak Formasyonu

Çalışma bölgesinde gözlemlenemeyen bu birim fosilli kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Fosil içeriğine göre Bartoniye-Priaboniye olarak yaşlandırılan bu kireçtaşları sığ denizel ortamda çökelmiştir (Karadenizli 2011). Bu fosiller; Nummulites cf. Milnecaput, Discocyalina sp., Operculina sp., Asterigerina sp., Sphaerogypsina sp. ve Rotaliidae olarak tanımlanmıştır (Özçelik vd. 1993).

2.4 İncik Formasyonu

İncik ve Satıyüzü bölgelerinde en iyi gözlemlenen bu formasyon, ilk kez Birgili vd. (1975) tarafından adlandırılmıştır. Masif konglomeralar ve çapraz tabakalı kumtaşlarından oluşan bu birimin kalınlığı 1200 m'dir ve yaşlı fosil içermemesine rağmen Erken Oligosen olarak tanımlanmıştır. Yaş tayini formasyonun içinde kaya blokları ve çakılları şeklinde görülen kireçtaşlarına ait fosil içeriğine bakılarak göreceli bir biçimde yapılmıştır. Bu kireçtaşı bloklarında görülen fosiller; Nummulites sp., Alveolina sp., Chapmanina gassinensis (Oppenheim), Discocyalina sp., Gypsine mastalensis (Burch), Sphaerogypsina golula (Reuss) ve Orbitolites sp.'dir. Bu fosiller İncik Formasyonunun Bartoniye-Priaboniye'den genç olduğunu göstermektedir (Karadenizli 2011).

2.5 Güvendik Formasyonu

Birim, yumrulu jips ve kilaşlarından oluşmaktadır. Yanal olarak Kızılırmak Formasyonu ile geçişli olan Güvendik Formasyonunun kalınlığı 500 m'dir ve en iyi Sungurlu yöresinde gözlemlenmektedir. Birimin, çok sıcak ve kurak iklim koşullarında, geçici akarsuların beslediği kapalı göl ortamında ve hatta göl havzasının kuruması sırasında çökeldiği tahmin edilmektedir. Formasyonun yaşı içerdiği memeli fosillerine (*Eucricetodon* sp., *Muhsinia* sp., ve *Eumyarion* sp.) göre Oligosen olarak tanımlanmıştır. (Kaymakçı 2000, Ünay vd. 2003, Karadenizli vd. 2004).

2.6 Kızılırmak Formasyonu

Çakıltaş, kumtaşı, çamurtaşı litolojilerinden oluşan bu birime Karadenizli (2011) tarafından birimin yaşı Geç Oligosen yaşı verilmiştir. Yayvan bir topoğrafyaya sahip olan bu birimin kalınlığı yer yer 130 m'ye kadar ulaşmaktadır ve tip yeri Kızılırmak çevresidir. Formasyon, esas olarak tabakalı kumtaşı, masif çamurtaşı ve tabakalı konglomeralardan oluşur. Bu birimlerin renkleri kırmızı ve kahverengidir.

Geç Oligosen sırasında, havzanın batı kesimlerinde flüvyal koşullar hakimken, havzanın iç kesimlerine sığ göl ortamı koşulları hakimdi. Flüviyal fasiyes tabakalı konglomeralar ve masif kumtaşlarıyla temsil edilmektedir. Dizisinin üst seviyelerinde akarsu depolanma koşullarının göstergesi olan çapraz tabakalı kumtaşı ve çamurtaşı hakimdir. Bazı sınırlı alanlarda organik maddece zengin bataklıklarda kömür oluşumlarının yanı sıra, çamurtaşları da bulunur.

Formasyonda yer yer gözlenen memeli fosilleri; *Iberomeryx* cf. *parvus*, *Procervulus* sp., *Dremotherium* sp., *Paraceratherium* sp., *Eucricetodon* sp. ve *Tataromys* sp.'dir (Karadenizli vd. 2004, Antoine vd. 2008). Bu fosillere göre birimin yaşı Geç Oligosen olarak değiştirilmiştir.

2.7 Hançili Formasyonu

İlk kez Akyürek vd. (1980) tarafından isimlendirilen Hançili Formasyonu, tipik olarak Hançili Köyü'nde görülmektedir ve yaprak ve memeli fosilleri içermektedir. Formasyonun kalınlığı 400 m'dir (Şekil 2.5). Organik maddece zengin bitümlü şeyl, marn, kilaşı, tuf, linyit ve kömür bantlarından oluşan bu birim göl ortamını karakterize etmektedir (Şekil 2.6). Bu birimde yer alan son fasiyes ostracod, gastropod ve charophyte fosilleri içeren, kilaşlarıyla yataklanmış karbonat bantları şeklindedir (Şekil 2.6). Platt vd. (1991) fasiyes modelini gölsel karbonatlar üzerine kurmuşlar ve bunu 10 m'ye kadar bulunabilen ostracod kavkuları, 10 m ile 60 m derinlikte bulunabilen düzlemsel stromatolitler ve 0 m ile 2 m arasında çamurlarda bulunabilen Charophytes kavkularına dayandırmışlardır. Bunun yanında aynı yazar bu oolitik katmanların 2 m ile 4 m derinlikte oluştuğunu, ayrıca kömürlerin de benzer bir çevrede biriktiğini belirtmektedir (Platt vd. 1991).



Şekil 2.5 Kömür içeren Haçılı Formasyonu.



Şekil 2.6 Ostracod ve gastropod fosilleri içeren, kiltaşlarıyla yataklanmış Hançili Formasyonu

Hançili Formasyonunda bulunan bir çok fasiyes bu formasyonun gölsel bir ortamda oluştuğunu göstermektedir. Göldeki su seviyesi tektonizma ve iklim değişikliklerinden etkilenmiştir ve göl seviyesinde derinleşme ve sığlaşma olmuştur. Göl su seviyesi derinleştiğinde zengin organik maddeli kiltası ve bir miktar marn depolanmıştır. Çünkü tabakalanmamış ve kısa ömürlü göller anoksik koşullar göstermekte ve organik madde 100 m'ye kadar derinlikteki göllerde korunabilmektedir (Platt vd. 1991). Göl seviyesi yükseldiğinde kara içindeki ufak tepelerin etrafı gölle çevrilebilir ve bunun sonucunda iyi tanelenmiş gölsel depolanma alanları şekillenir. Göl sığlaştığında laminalı kiltaşlarının ve marnların oluştuğu alanlarda karbonatlar daha çok oluşur ve basene gelen klastik malzeme akışı artarak proksimal çevrede oluşan fan-delta depolanma alanlarına dönüşür (Horton vd. 1996).

2.8 Bayındır Formasyonu

Birgili vd. (1975) tarafından tanımlanan bu formasyon, tipik olarak Çankırı yakınlarında Bayındır Köyü'nde görülür. Kalınlığı 300 m olan bu birim kırmızı-yeşil klastikler ile sarı-beyaz evaporitik kayalardan oluşur (Karadenizli 2011).

Bayındır Formasyonu Geç Miyosen yaşını veren zengin memeli fosilleri içermektedir. Bunlar; *Schizogalerix* sp., *Parapodemus* sp., *Byzantinia* sp., *Myomimus* sp., *Pseudomeriones* sp., *Pliospalax* sp., *Hypsocricetus strimonis*, *Apodemus gudrunae*, *Castillomys* sp., *Tamias* sp., *Occitanomys* sp. ve *Hipparion* sp. olarak Karadenizli vd. (2004) tarafından tanımlanmıştır.

2.9 Volkanitler

Orta-Geç Miyosen'de havzanın kuzeybatısına yerleşen volkanik kayalar, çalışma alanında Hançili ve Bayındır Formasyonlarını keser halde lav akıntısı biçiminde gözlenmektedir. Bu volkanik kayalar kalkalkalen riyolit, dasit, andezit ve bazaltik andezit ile piroklastik malzeme olarak bulunur.

2.10 Bozkır Formasyonu

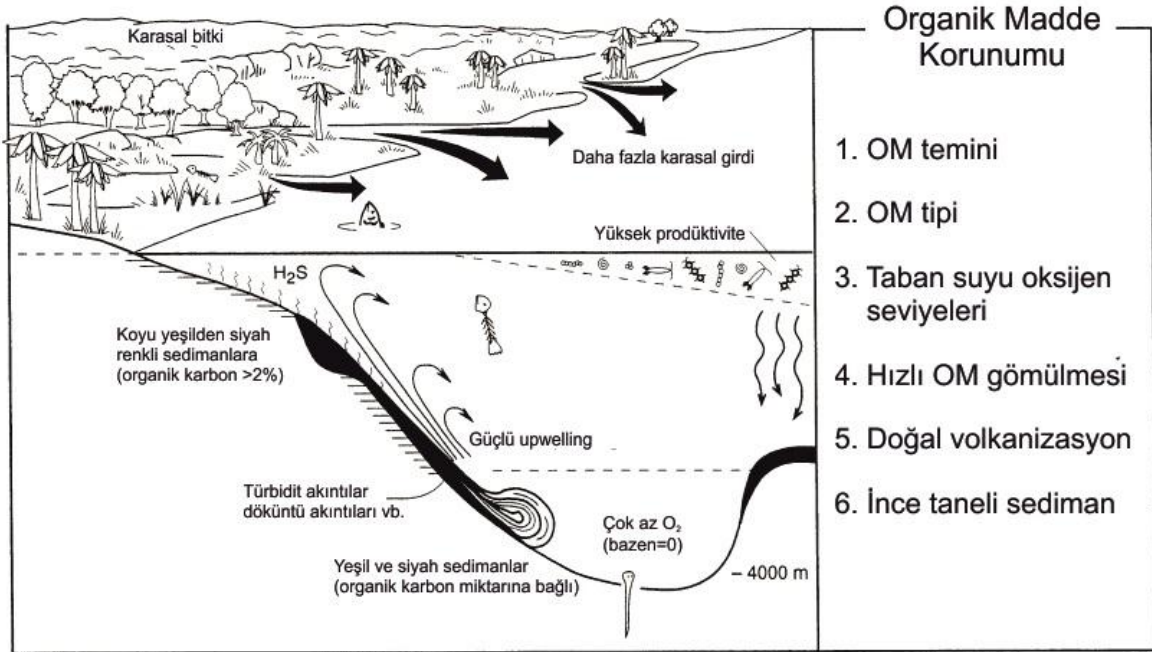
Çankırı-Kızılırmak yolu üzerindeki Bozkır Köyü'nde tipik olarak gözlenen bu birim, ilk kez Birgili vd. (1975) tarafından adlandırılmıştır. Jips, kireçtaşı, konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı litolojilerini veren Bozkır Formasyonu, 750 m kalınlıktadır. Formasyona Erken Pliyosen yaşı *Promimomys* sp. fosiliyle Karadenizli vd. (2004) tarafından verilmiştir.

2.11 Değim Formasyonu

Konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı ile temsil edilen bu formasyona Geç Pliyosen yaşını *Microtus* sp. Fosiliyle N.Kaymakçı (2000) vermiştir.

3. ANALİZ VE BULGULAR

Sedimanter organik madde yaşayan canlılardan türemektedir. Bu organizmaların ölümünden sonra karbonhidrat, lipidler, proteinler, lignin gibi maddeler sedimantasyon ortamına bağlı olarak çeşitli derecelerde ayrışmaya maruz kalmaktadırlar. Bu parçalanma sonucunda bazı ürünlerin başka organizmalar tarafından enerji kaynağı olarak kullanılmak üzere tekrar geri dönüşümü sağlanır. Biyojenik organik madde sediman ve toprak içine katılarak sedimanter kayaçların erozyonundan sonra veya fosil yakıtların yanması ile karbondioksite tekrar oksitlenmesine izin veren metamorfik karbon oluşumları (grafit) veya kömür, doğal gaz, petrol oluşumu şeklinde devam eder. Sedimanların organik madde içeriği ve verimliliği, korunma ve sedimantasyon oranları ile ilişkilidir. Yani buna bağlı olarak organik maddenin kayaç içerisinde zenginleşmesinde taşınma, depolanma ve korunma süreçlerinin önemi büyüktür (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Organik madde korunumu

Genelde bitümlü şeyller koyu renge sahip olup, ince taneli, laminalı bir yapıya sahiptir. Bitümlü kayaçların koyu renge sahip olması organik maddenin bolluğuyla alakalıdır. Genellikle organik madde miktarı attıkça kayaçların renkleri de koyulaşır. Ancak bu kuralı

bozan bazı istisnalar da söz konusu olabilmektedir. Bitümlü kayaçların mineral fraksiyonu aşağıdaki gibidir (Çizelge 3.1);

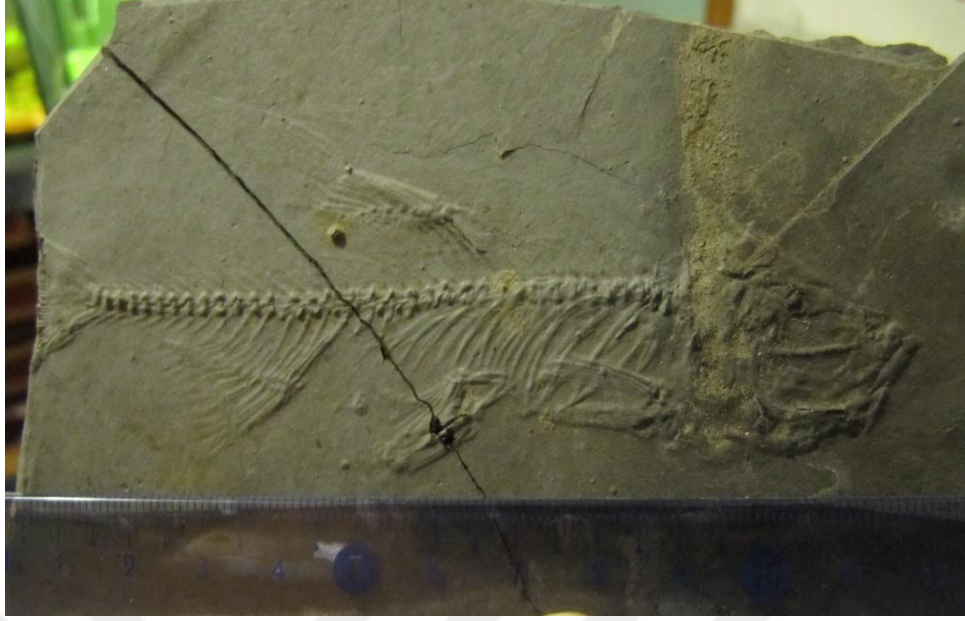
Çizelge 3.1 Bitümlü şeyllerin bileşimi

Bitümlü Şeyl		
İnorganik Matriks	Organik Matriks	
	Bitüm	Kerojen
	(CS ₂ çözünebilir)	(CS ₂ çözünemeyen)
Kuvars Feldispat Killer (esas olarak illit ve klorit) Karbonatlar (kalsit ve dolomit) Pirit ve diğer mineraller	(U, Fe, V, Ni, Mo, Co, Zn, U vb.elementleri içeren)	

3.1 Bitümlü Şeyl Kavramı

Bitümlü şeyl, organik çözücülerde çözünmeyen ve “kerojen” adı verilen organik madde ile organik çözücülerde çözülebilen ve “bitüm” adı verilen organik maddeleri içeren, ince taneli ve genellikle laminalı bir yapıya sahip sedimanter kayaçlar olarak tanımlanmaktadır. Gavin (1924) bitümlü şeylleri şu şekilde tarif etmektedir: “Bitümlü şeyl yoğun, yapraksı, yakıldığında %33 üzerinde kül veren ve damıtıldığı zaman petrol elde edilebilen, fakat petrol için normal çözücüler ile ekstrakt edildiğinde önemsiz olan, organik madde içeren sedimanter kökenli bir kayaçtır”.

Bitümlü şeyller yaygın olarak her türlü sulu ortamda oluşabilir. Bitümlü şeyller genellikle depolanma süresince serbest oksijenin olmadığı ortamlarda korunmakta olup, balık ve yaprak fosilleri de içerebilirler (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Çorum Dodurga bitümlü şeyleri bünyesinde görülen balık ve yaprak fosilleri

Bitümlü şeyl çökelleri dünyanın birçok yerinde Kambriyen'den Tersiyer'e kadar uzanan yaş aralığında bulunmaktadır. 700 metre veya daha fazla kalınlıklara ulaşan ve binlerce kilometre kare alan kapsayan bitümlü şeyl çökelleri mevcuttur. Bitümlü şeyler genellikle kömürlerle birlikte tatlı su, oldukça tuzlu göller, kıta içi denizel basenler, gel-git altı şelfleri, gölsel ve kıyusal bataklıklarda depolanırlar.

Bitümlü şeyllerin inorganik bileşikleri çökelden çökele oldukça farklıdır. Yoğun olarak; kuvarsa ilaveten feldispat, kil, opal veya çört ile kalsit veya dolomit gibi karbonatlardan meydana gelebilir. Tuz mineralleri (trona, davsonit, halit ve diğerleri) bitümlü şeyllerde bazen mevcuttur veya sedimentlerle yakın ilişkilidir. Volkanik küller sık sık tek başına şeylin bileşenini oluşturur veya sediment birlikteliğinde belirgindir. Daha az bolluktaki mineraller genellikle pirit veya diğer metalik sülfidler ile fosfatik minerallerdir.

Bazı bitümlü şeyllerin mineral içeriği kalsit, dolomit ve siderit gibi karbonat mineralleri ve daha az miktarlarda alüminasilikat mineralleriyken, bazılarında ise karbonat mineralleri ikincil bileşen, kuvarsa içine alan silikat mineralleri, feldispat ve kil mineralleri ana bileşendir. Birçok bitümlü şeyl deposu pirit ve markazit gibi sülfid mineralleri içerir. Sülfid mineralleri, sedimentlerin oyucu organizmalardan korunmuş organik maddenin disanaerobik veya anoksik sulardaki depolanmasına işaret eder (Dyni 2003).

Bitümlü şeyllerin güncel sınıflanması ve adlandırmasında çökelin depolanma ortamı, organik maddenin petrografik karakteri ve öncü organizmaların tanımlanması göz önünde bulundurulur. Hutton (1991) tarafından yapılan sınıflamada bitümlü şeyllerden türeyen hidrokarbonların kimyasıyla, bitümlü şeyllerdeki organik maddenin farklı türleri karşılaştırdığından sınıflamanın yararlı olduğu görülmüştür.

3.2 Bitümlü Şeyllerin Yaşı ve Dünyadaki Dağılımları

Erken Paleozoyik (Kambriyen ve Ordovisiyen) depoları denizel platform tipindedir ve kuzey Avrupa, kuzey Asya ve Kuzey Amerika'nın orta doğusundadır. Silisli bitümlü şeyllerin birçoğu nispeten az miktarlarda petrol verir. Genellikle silisli bitümlü şeyllerin sadece küçük bir miktarı petrole dönüşen organik maddeden oluşur. Estonya'daki Ordovisiyen yaşlı kukersit depoları ve yakın komşusu Leningrad'dakiler istisnadır. Bu depolar yüksek dereceli kalkerli petrollü şeyl oldukları için nispeten kalınlıkları incedir, algal kökenli organik materyal kireçtaşlarıyla ara tabakalıdır.

Orta Paleozoyik (Silüriyen-Devoniyen) petrollü şeyl depoları Amerika'nın doğusu ve merkezindeki denizel platform depolarıdır. Bu depolar küçük miktarlarda petrol (10-20

gal/ton) veren siyah şeyllerdir. Rusya'da ince tabakalı denizel bitümlü şeyller derin tuz havzalarının kenarlarındadır ve basenin merkezi kısmına doğru gidildikçe kalınlığı tahmin edilmektedir.

Bütün kıtalar üzerinde Geç Paleozoyik yaşlı bitümlü şeyller saptanmıştır. Çoğu kömür içeren kayalarla birlikte ve küçük Cannel şeylleri veya onlarla ilişkili depolar olarak anlatılır. Bu gibi depolar İskoçya, Fransa, İspanya, Güney Afrika, Avustralya, Rusya'da aynı yolla işletilirler.

Dünyanın en büyük bitümlü şeyl depolarından biri, güney Brezilya'daki Geç Permiyen yaşlı denizel siyah şeyl olan Irati Şeyli'dir. Güney Arjantin ve Uruguay'da da yaklaşık olarak aynı yaşlı şeyller mevcuttur. Daha az yayımlı, siyah şeyl-fosforit-çört birlikteliğindeki düşük dereceli denizel depolar, Amerika'nın kuzey batısında güney Montana'daki Permiyen yaşlı Fosforia Formasyonunda belirlenmiştir. Kuzey Alaska'da Brooks Range'de, Mississipiye yaşlı benzer düşük dereceli depoların varlığı bilinmektedir.

Mesozoyik yaşlı bitümlü şeyller Avustralya dışında bütün kıtalarda bulunur. Afrika'nın merkezinde Congo'nun Stanleyville Baseninde Triyas yaşlı gölsel bitümlü şeyller yaygındır, kireçtaşları ve volkanik materyallerle ara tabakalı olarak bulunurlar. En kalın bitümlü şeyl serisi sedimanter basenin daha derin kısımlarındadır. Kuzey ve doğu Asya'daki depolar çoğunlukla Jura ve Kretase yaşlı kömür içeren kayalarla birlikte. Kretase yaşlı siyah şeyl-fosforit-çört birlikteliğindeki yaygın denizel-platform depoları İsrail, Ürdün, Suriye ve Arap yarım adasının güney kısmındadır. Avrupa'daki yaygın denizel platform depoları çoğunlukla siyah şeyllerdir, Jura'da geniş bir dağılım gösterirler. Jura ve Kretase yaşlı bazı petrolü şeyl birliktelikleri doğu ve güney Avrupa'da bulunmuştur. Triyas yaşlı başlıca depolar Avrupa'nın merkezinde ve güneyinde bulunur.

Kuzey Amerika'daki geniş denizel platform depoları Kanada'nın merkezinde ve Alaska'da bulunur. Doğu Alaska'daki Triyas depoları ve kuzey Alaska'daki Jura ve Kretase depolarının her ikisi de kalın düşük dereceli seriler içerisinde ince tabakalı, yüksek organik maddeli bitümlü şeylleri kapsarlar. Kretase yaşlı düşük organik maddeli petrolü

şeyllerin Saskatchewan ile Manitoba ve Kanada'daki platform depoları yaygın şekilde bulunur. Kretase yaşlı diğer düşük dereceli denizel bitümlü şeyl depoları Amerika'nın batısındadır. Kömür içeren kayalarla birlikte bulunan küçük bitümlü şeyl depoları Amerika'nın doğusundaki Triyas sedimanter kayalarında ve Kanada'da gözlenmiştir.

Tersiyer yaşlı petrollü şeyl depolarının birçoğunun kökeni denizel değildir. Bu depolar büyük göl basenleri veya kömür içeren tabakalarla birlikte daha küçük birikimler olarak çökelmişlerdir. Küçük depolar Yeni Zellanda'da, Avrupa'da, Güney Amerika'da Andean Dağları'nda ve Kuzey Amerika'nın batısında Cordilleran ve Coast bölgelerinde mevcuttur. Daha büyük göl havzası çökelleri en çok Erken ve Orta Tersiyer yaşlıdır ve Green River Formasyonu petrollü şeylleri, Amerika'nın batısındaki diğer depolar, Brezilya'nın güneyindeki Paraibo Valley, Yugoslavya'daki Aleksinac ve diğer depolar, Rusya'nın güneyindeki dağ içi basenleri ve doğu Çin'deki depoları kapsar. Bu depoların çoğu faylanmış dağlar ve güncel kıvrımlanmaları oluşturan ana orojenik hareketlerin kenarlarında bulunan bölgelerdedir.

Bitümlü şeyl-fosforit-çört birlikteliğinin olduğu denizel depolar çoğunlukla Geç Tersiyer yaşlıdır ve güney Kaliforniya'da, Cezayir'de, Sicilya'da ve Rusya'nın güneyindeki Caucasus bölgesinde bulunur. Çoğunlukla önemli miktarlarda bitüme ilaveten kerojen içeren diyatomlu şeyllerden oluşur.

Kuvaterner depoları bir kaç güncel göl, bataklık, lagünden oluşur ve denizel havza depoları petrol verebilen organik döküntüleri kapsar.

3.3 Toplam Organik Madde Miktarı (% wt TOC)

Toplam Organik Karbon analizi kayaç içerisinde bulunan organik madde miktarını belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Bu analiz sonucunda kaya içerisindeki organik madde miktarı yüzde ağırlık şeklinde elde edilir. Bir kayaç örneğinin TOC (% wt) değeri organik maddenin hava veya oksijen atmosferi altında yakılması ile ölçülmektedir. Her yüksek organik madde miktarına sahip kayaç iyi potansiyelli petrol üreticisi değildir. Şeyllerdeki karbon ortalamasına göre (Wedepohl 1971) incelenen örneklerin çeşitli

araştırcıların kaynak kaya potansiyeline dair parametrelerine göre oldukça zengin oldukları tespit edilmiştir (izelge 3.2-3.3).

Çizelge 3.2 çeşitli araştırmacılara göre TOC değerlendirmeleri

Jarvie (1991)		Tissot vd. (1984)		Peters vd. (1994)	
C _{org} (%)	Kaynak Kaya Kalitesi	C _{org} (%)	Kaynak Kaya Kalitesi	C _{org} (%)	Petrol Potansiyeli
0 – 0.5	Yetersiz	0.1 – 0.5	Zayıf	0 – 0.5	Zayıf
0.5 – 1	Orta	0.5 – 1	Orta	0.5 – 1	Orta
>1	Yeterli	1 – 2	İyi	1 – 2	İyi
		2 – 10	Zengin	2 – 4	çok iyi
				>4	Mükemmel

Çizelge 3.3 Hançili Formasyonuna ait TOC değerlendirmeleri

rnek	TOC wt %	Jarvie (1991)	Tissot vd. (1984)	Peters vd. (1994)
AP-31	6,08	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-33	1,5	Yeterli	İyi	İyi
AP-34	0,61	Orta	Orta	Zayıf
AP-35	0,67	Orta	Orta	Zayıf
AP-37	7,57	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-41	3,6	Yeterli	Zengin	çok iyi
AP-42	1,33	Yeterli	İyi	İyi
AP-44	3,54	Yeterli	Zengin	çok iyi
AP-46	6,37	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-47	4,07	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-50	3,26	Yeterli	Zengin	çok iyi
AP-51	2,87	Yeterli	Zengin	çok iyi
AP-53	13,31	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-56	6,12	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-57	2,26	Yeterli	Zengin	çok iyi

Çizelge 3.3 Haççili Formasyonuna ait TOC değerlendirmeleri (devam)

AP-59	3,56	Yeterli	Zengin	Çok iyi
AP-62	2,79	Yeterli	Zengin	Çok iyi
AP-63	2,63	Yeterli	Zengin	Çok iyi
AP-65	6,12	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-67	1,87	Yeterli	İyi	Mükemmel
AP-68	2,29	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-70	6,97	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-72	8,2	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-76	6,04	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-78	2,55	Yeterli	Zengin	Çok iyi
AP-79	9,54	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-80	4,27	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-81	7,93	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-82	7,97	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-83	12,16	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-84	5,15	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-85	12,35	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-87	3,41	Yeterli	Zengin	Çok iyi
AP-89	4,52	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-90	5,43	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-93	3,76	Yeterli	Zengin	Çok iyi
AP-94	9,86	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-97	6,78	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-98	13,91	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-99	10,66	Yeterli	Zengin	Mükemmel
AP-100	5,34	Yeterli	Zengin	Mükemmel
MD-6	8,41	Yeterli	Zengin	Mükemmel
MD-9	2,84	Yeterli	Zengin	Çok iyi
MD-11	5,05	Yeterli	Zengin	Mükemmel
MD-15	1,8	Yeterli	İyi	İyi
MD-17	1,79	Yeterli	İyi	İyi

Çizelge 3.2 ve 3.3'te görüleceği gibi çalışma bölgesinden alınan örneklerin ortalama TOC değerleri her üç araştırmacıya göre de yeterli, zengin veya mükemmel kaynak kaya potansiyeline sahip olduğunu işaret etmektedir.

TOC içerikleri çalışılan her bir ÖSK için ortalama aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 3.4):

Çizelge 3.4 Çalışma bölgesine ait Rock-Eval analizinden elde edilen sonuç ortalamaları

ÖSK	TOC (%)	S ₁ (mg/g)	S ₂ (mg/g)	S ₃ (mg/g)	T _{max} (°C)	HI	OI	PI	RC (%)	PC (%)	MINC (%)
AP	5,59	0,66	35,52	0,73	431,51	534,07	21,41	0,024	2,51	3,07	1,93
MD	3,97	0,39	21,41	1,44	435,80	448,40	45,20	0,024	2,08	1,89	2,01

3.4 Organik Madde Tipi

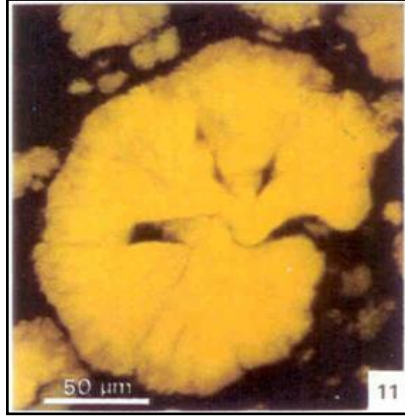
Bir havzada üretilebilecek hidrokarbonların petrol ve/veya gaz olması mevcut organik maddenin tipiyle ve onların kimyasal bileşimleriyle alakalıdır. Kerojenler C, H ve O içeriklerine göre sınıflandırılırlar (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 Kerojen Tiplerinin Kaynağı ve Karakteristikleri (Wignall 1994; Potter vd. 2005).

Kerojen Tipi	Kaynak	Karakteristikleri
Tip I	Tatlı su algi	Hidrojen zengin, oksijen fakir petrol üretimi için mükemmel potansiyel
Tip II	Spor, polen, karasal bitki kütükülleri, lipidler, resinler; denizel alg	Tip I ve Tip III karışımı
Tip III	Karasal bitkiler, ağaçlar ve Selüloz	Düşük H/C oranı, Yüksek O/C oranı Gaz üretimi için mükemmel potansiyel
Tip IV	Yanmış kömür, okside olmuş materyaller	Düşük H/C oranı, Yüksek O/C oranı Gaz üretimi için zayıf potansiyel

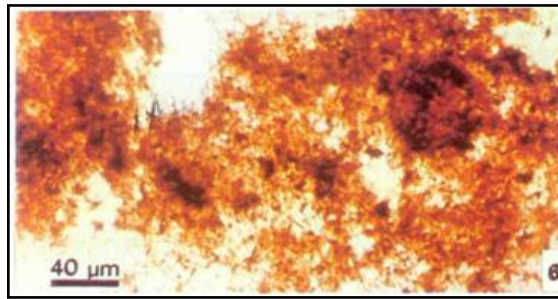
Genel olarak kerojen tipleri kimyasal özelliklerine göre üç gruba ayrılmaktadır (Tissot vd. 1984).

- Tip I Kerojen (Algal Kerojen): Özellikle gölsel ya da denizel kökenli basit yapılı Botryococcus ve Tasmanites gibi planktonik alglerden türemişlerdir (Şekil 3.3). Kimyasal yapısında alifatik zincirler son derece bol olup, az oranda aromatik bileşikler bulunur. Oldukça yüksek atomik H/C (yaklaşık 1,5 veya daha yüksek) oranına ve düşük atomik O/C (genellikle 0,1'den daha düşük) oranına sahiptir. H/C oranı yüksek uzun zincirli hidrokarbonlar, ısıl ayrışma nedeniyle parçalanarak H/C oranı yüksek kısa zincirli hidrokarbonlardan yapıları olan ham petrolü üretir. Özellikle alifatik bağlara sahip tercihen lipid materyal içermektedir. Buna bağlı olarak da petrol üretme yetenekleri çok yüksektir.



Şekil 3.3 Koloni halindeki alglerin mikroskopik görüntüsü (Durand 1980).

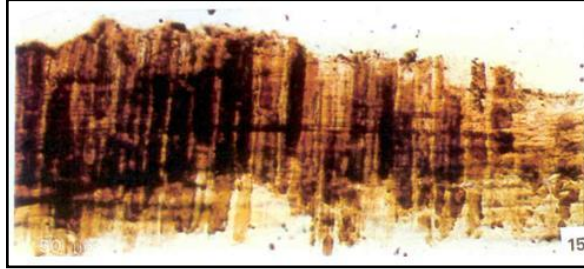
- Tip II Kerojen (Lipid Kerojen): Genellikle spor, polen, karasal bitki kütikülleri, bitki tohumları, yaprakların ve ağaçsal reçinelerinin yağ ve mumsu bileşenlerinden, bakteri kalıntılarında ve denizel planktonlardan oluşurlar (Şekil 3.4). Kimyasal yapısındaki aromatik bileşikler Tip I kerojene göre daha fazladır. Moleküler yapısında H/C oranı Tip I kerojene göre düşük, O/C oranı ise daha yüksektir ve özellikle çoğu petrol kaynak kaya ve petrol şeyllerinde yoğun tip kerojenidir. Tip II kerojenler denizel ve karasal kökenli organik maddelerin birlikte bulunduğu yerlerde oluşmaktadır. Bu nedenle petrol oluşturma yeteneği Tip I kerojene göre daha azdır.



Şekil 3.4 Süngerimsi organik maddenin mikroskopik görüntüsü (Durand 1980)

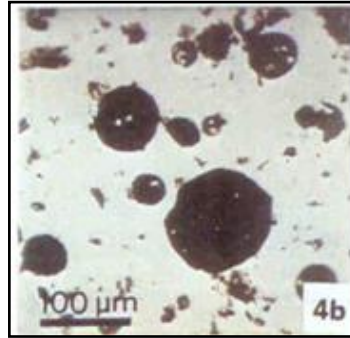
- Tip III Kerojen (Odunsu Kerojen): Karasal kökenli yüksek ağaçlar, yüksek bitkiler ve selüloz'lu organik maddelerden türemiştir (Şekil 3.5). Kimyasal yapılarında aromatik bileşikler hakimdir. Oldukça düşük H/C (genellikle < 1) ve yüksek O/C

(0,2 veya 0,3 kadar) oranlara sahiptir. Tip I ve II kerojenlerin petrol türetme potansiyellerine nazaran Tip III kerojenin gaz türetme potansiyeline sahip olmaktadır.



Şekil 3.5 Odunsu kalıntının mikroskobik görüntüsü (Durand 1980)

- Tip IV Kerojen ise; çok fazla oksidasyon koşulları altında kalan, önceki depolanma ortamından aşınarak yeniden bir araya gelen değişik kökenli organik maddelerdir (Şekil 3.6) ve jeokimyasal incelemelerde önem arzetmezler.



Şekil 3.6 Tip IV kerojenin mikroskobik görüntüsü (Durand 1980)

Kerojenler mikroskobik özelliklerine göre de iki bölümde incelenmektedir (Çizelge 3.6).

- Amorf kerojen: Planktonik alglerden türemiş, belirgin bir dıő yapısı ve şekli olmayan, ilksel rengi sarı veya turuncu organik maddelerdir. Amorf kerojenler hidrojenle zengin lipidlerle zengin olduklarından önemli lde sıvı hidrokarbon yani petrol üretirler. Amorf kerojenlerin genel olarak Tip I ve Tip II kerojenin eşdeğeri olduğu kabul edilebilir.
- Hümik kerojen: Başlıca selüloz, lignin ve karbonhidratlardan türemiş, belirgin bir dıő yapıya sahip özellikle karasal ağaç ve yüksek bitki kökenli olan bu tür

kerojenlerin petrol üretme yeteneği zayıf olup, gaz oluşumu için önemlidirler. Genel olarak Tip III kerojenin eşdeğeri olarak kabul edilirler.

Çizelge 3.6 Kerojen tipleri ve karakteristikleri (Barker 1979)

Kerojen Tipleri ve Hidrokarbon Potansiyelleri				
Ortam	Kerojen Tipi	Kerojen Formu	Köken	Hidrokarbon Potansiyeli
Sukul	I	Alginit	Algal gövde	Oil
		Amorf Kerojen	Algal kaynağın yapısız döküntüleri	
	Yapısız planktonik materyal, ilksel			
Karasal	II		denizel kaynak	Gaz, biraz petrol
		Eksinit	Spor ve polenlerin kabukları, yaprak kütükülleri ve otsu bitkiler	
	III	Vitrinit	Lifli ve odunsu bitki parçaları ve yapısız, kolloidal hüyük madde	Çoğunlukla gaz
	IV	İnertinit	Oksitlenmiş, tekrar dönüşümlü odunsu döküntüler	Yok

Piroliz analizlerinden elde edilen S_2 , S_3 hidrokarbon değerlerinden Hidrokarbon Tip İndeksi (S_2/S_3 oranı) (Peters vd., 1994) hesaplanarak kerojen tipi belirlenebilmektedir (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7 S₂/S₃ Parametresine göre organik madde tipi (Peters vd. 1994)

Peters vd. (1994)	
S₂/S₃^a	Kerojen Tipi
> 15	I
10 – 15	II
5 – 10	II/III
1 – 5	III
< 1	IV

^a Isısal olarak olgunlaşmamış kaynak kayalardaki tahmini değerlerdir

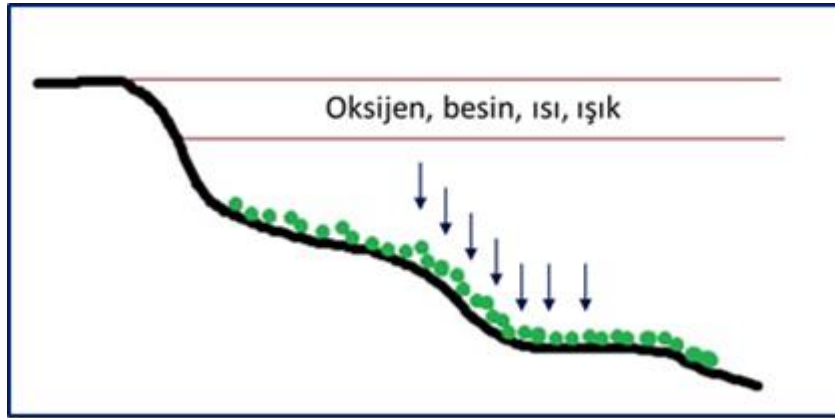
Buna göre incelenen incelenen AP ÖSK'ya ait 41 adet bitümlü şeyl örneklerinin Hidrokarbon Tip İndeksi (S₂/S₃ oranı) değerleri 0,30 - 286,67 arasında değişmekte olduğundan (ortalama 73,25) örneklerin çoğunlukla Tip I kerojen tipine, MD ÖSK'ya ait 5 adet bitümlü şeyl örneklerinin ise Hidrokarbon Tip İndeksi (S₂/S₃ oranı) değerleri 5,43 - 28,53 arasında değişmekte olduğundan (ortalama 13,01) örneklerin Tip I-II-III kerojen tiplerine sahip oldukları tespit edilmiştir.

4. DEPOLANMA ORTAMI REDOKS KOŞULLARI

Redoks koşulları, ortamdaki oksijen durumunu belirtir. Oksik, disoksik (suboksik), anoksik, öksinik olmak üzere 4 temel redoks ortam koşulu vardır. Bu koşullardaki oksijen miktarları aşağıda verilmiştir:

- $> 0,2$ ml/lit } **Oksik koşullar**
- $0,2 - 2$ ml/lit } **Disoksik (suboksik) koşullar**
- $0 - 0,2$ ml/lit } **Anoksik koşullar**
- 0 ml/lit } **Öksinik koşullar**

Organik madde korunumu için anoksik koşullar gereklidir. Oksik koşullar altında organik karbon korunumu olmaz. Ancak ortamda oksijen varlığına rağmen organik karbon varlığı, üretkenliğin fazla olduğu kesimlerde alglerin aşırı çoğalmalarına bağlı olarak salgıladıkları madde ile diğer canlıların ölümüne yol açmalarından kaynaklanabilir. Bu ölen canlılar dibе çöker, su yüzeyi alglerle kaplı olduğu için oksijensiz ve ışıksız ortamda korunurlar. Daha sonra da killer, dipteki ölen canlıların üzerini kapatır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Oksik koşullar altında organik madde korunumunu özetleyen şematik kesit (Sarı vd. 2014).

4.1 C-S-Fe İlişkisi

C/S diyagramları tatlı su, denizel ve öksinik koşulların yorumlanmasında kullanılmıştır (Berner vd. 1983, Leventhal 1987). $S/C < 0.4$ oksik koşulları, $S/C > 0.4$ öksinik koşulları

işaret eder (Berner vd. 1983). C-S arasındaki ilişkilerin incelenmesi organik maddenin birikimi süresince normal denizel ve öksinik koşullar arasındaki farkın ayrılmasında yardımcı olmaktadır. Fe-S arasında iyi korelasyon piritin kükürt depolanması için en önemli fazını sunar. Çalışma sahası bitümlü kayaçlarında karbon ile kükürt arasındaki korelasyonlar zayıftır. Bu şekildeki sonuçlar basendeki depolanma ortamının indirgen olmamasından ve pirit oluşumundaki Fe kısıtlılığından kaynaklanabilir.

C_{org} -S grafiği normal denizel ortamı öksinik ortamdan ayırt etmek için kullanılmıştır. Piritleşme derecesi (DOP), piritik Fe'in toplam reaktif Fe (piritik Fe + HCl-çözünebilir Fe) oranının olduğu, sediman birikimi süresince yaygın redoks koşullarını yansıtır (Berner vd. 1983).

Piritleşme derecesi;

- DOP < 0.42 küçük olanlar aerobik koşulları (normal denizel koşulları) belirtir,
- DOP > 0.75'ten büyük değerleri oksijensiz (anoksik) ve muhtemelen H₂S içeren (öksinik) koşulları belirtir,
- DOP : 0.42-0.75 arasındaki değerler disoksik koşulları gösterir (Berner vd., 1983).

0.67 ve 0.75 arasındaki değerler biraz güçlü tabakalı su kolonunu temsil eder (Hatch vd. 1992).

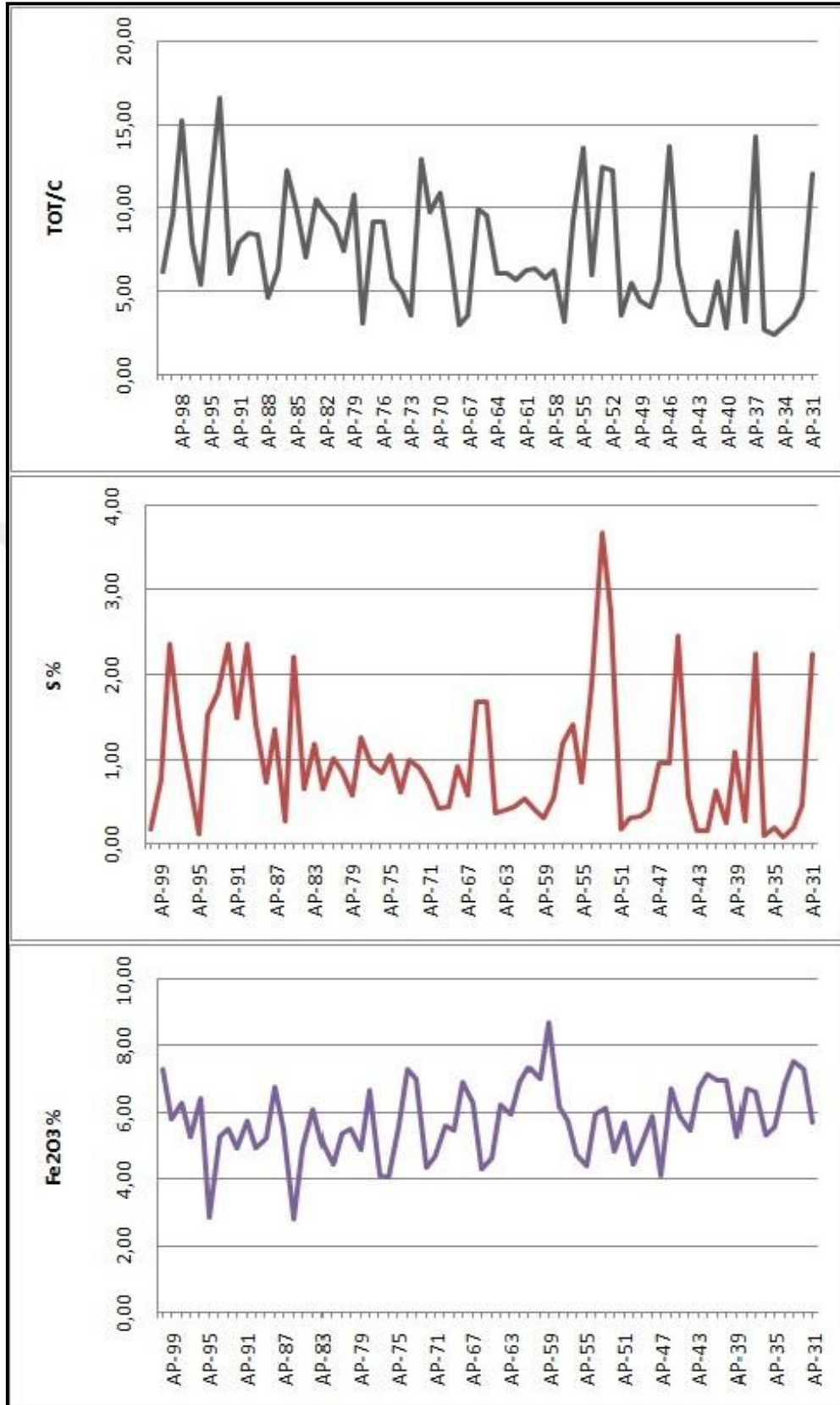
Dean vd. (1989) ve Arthur vd. (1994) üçlü Fe-S-C diyagramlarını piritleşme derecesine yaklaşmak için kullanmışlardır. Bu şekildeki üçlü bir diyagramda normal denizel örnekler 0.4 S/C oranına eşdeğer çizgi boyunca dizilir; tüm Fe'lerin reaktif olduğu ve piritik S olarak tespit edilmiş örnekler 1.15 S/Fe oranını veren doğru boyunca yer alır, Fe-S kesişme eksenini 0.54'tedir.

Ortalama S değerleri AP ÖSK'da %0,95 ve MD ÖSK'da %0,26 olup, çok yüksek değerler olmasa da %4.48'e kadar değerler göstermiştir. Şeyllerdeki ortalama dikkate alındığında Dodurga Sahası örneklerinde S zenginleşmesi, ortamın daha sülfidik özelliklere sahip olduğunun göstergesidir. S değerleri ortamın sülfidik özelliklere sahip olduğunun bir göstergesi olmasının yanında organik madde korunumunun bir göstergesi olması yönüyle

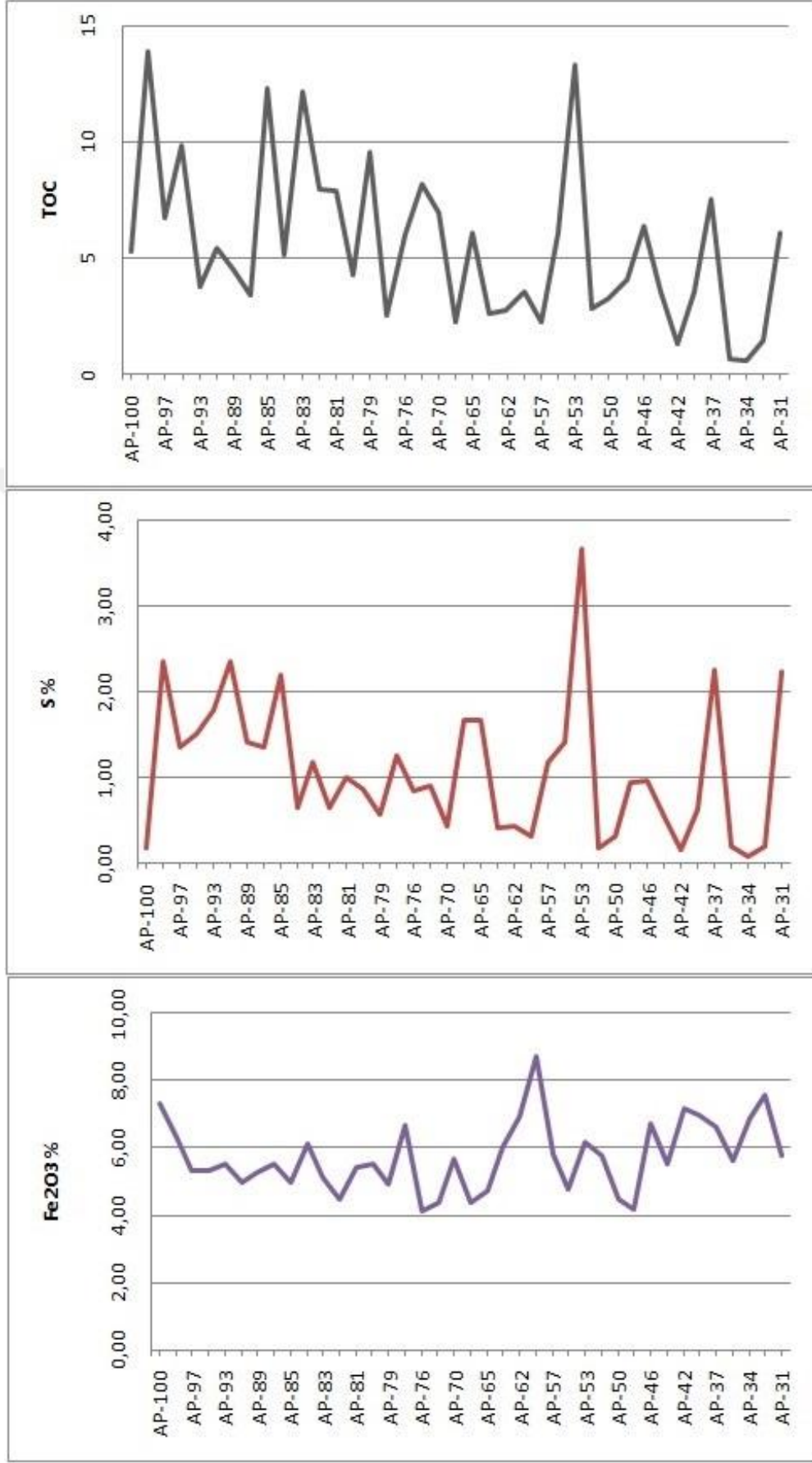
de önem arzeder. Bu nedenle örneklerdeki S-Fe ilişkileri sülfitleşmeyi yani pirit oluşumunu yansıtır.

Dodurga Sahası'na ait ÖSK'larda derlenen örneklerin S-Fe ve C_{org} ilişkileri araştırılmıştır. İncelenen ÖSK'larda S-Fe ve C_{org} ilişkilerinin birbirleriyle uyumlu oldukları görülmektedir (Şekil 4.2-4.5).

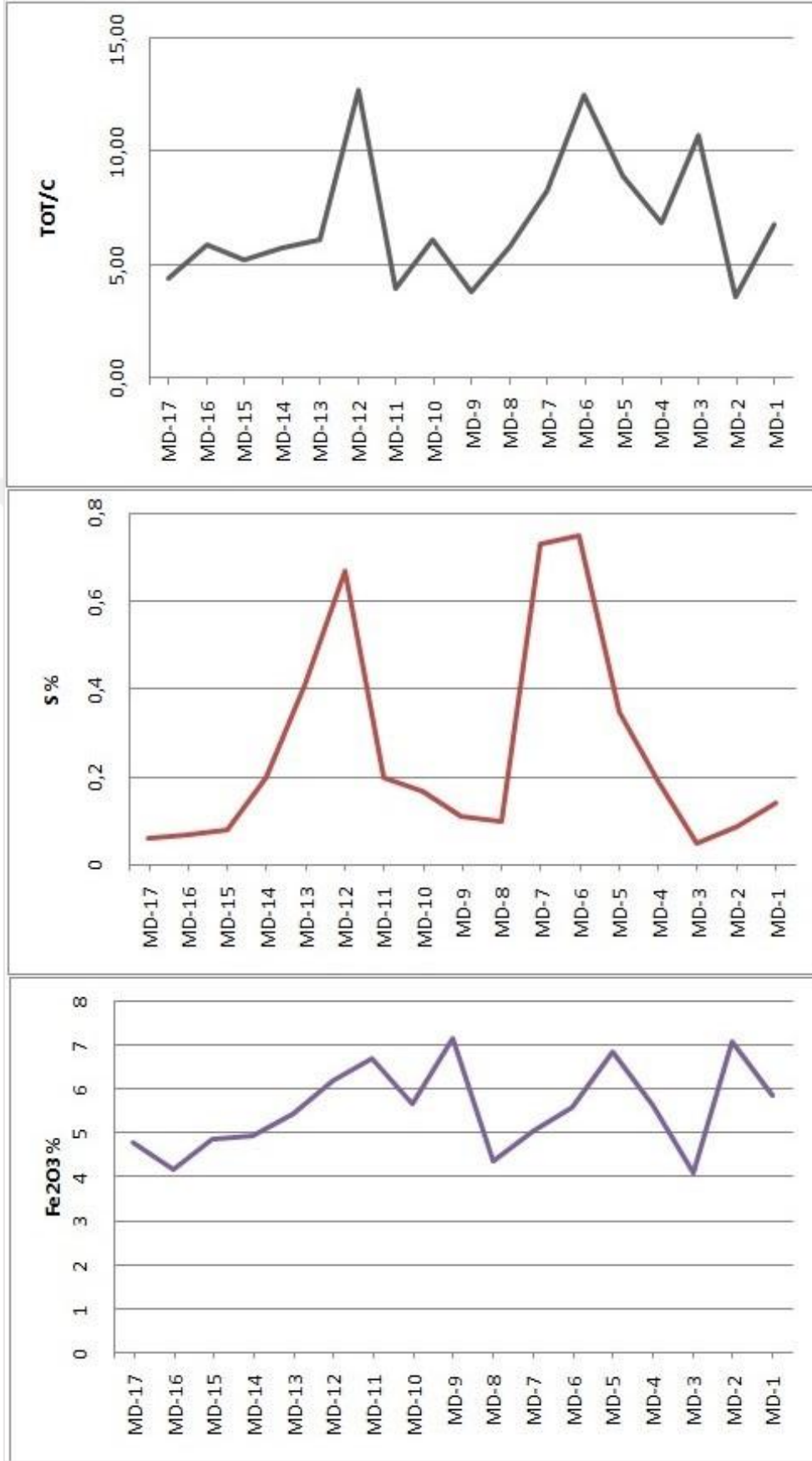




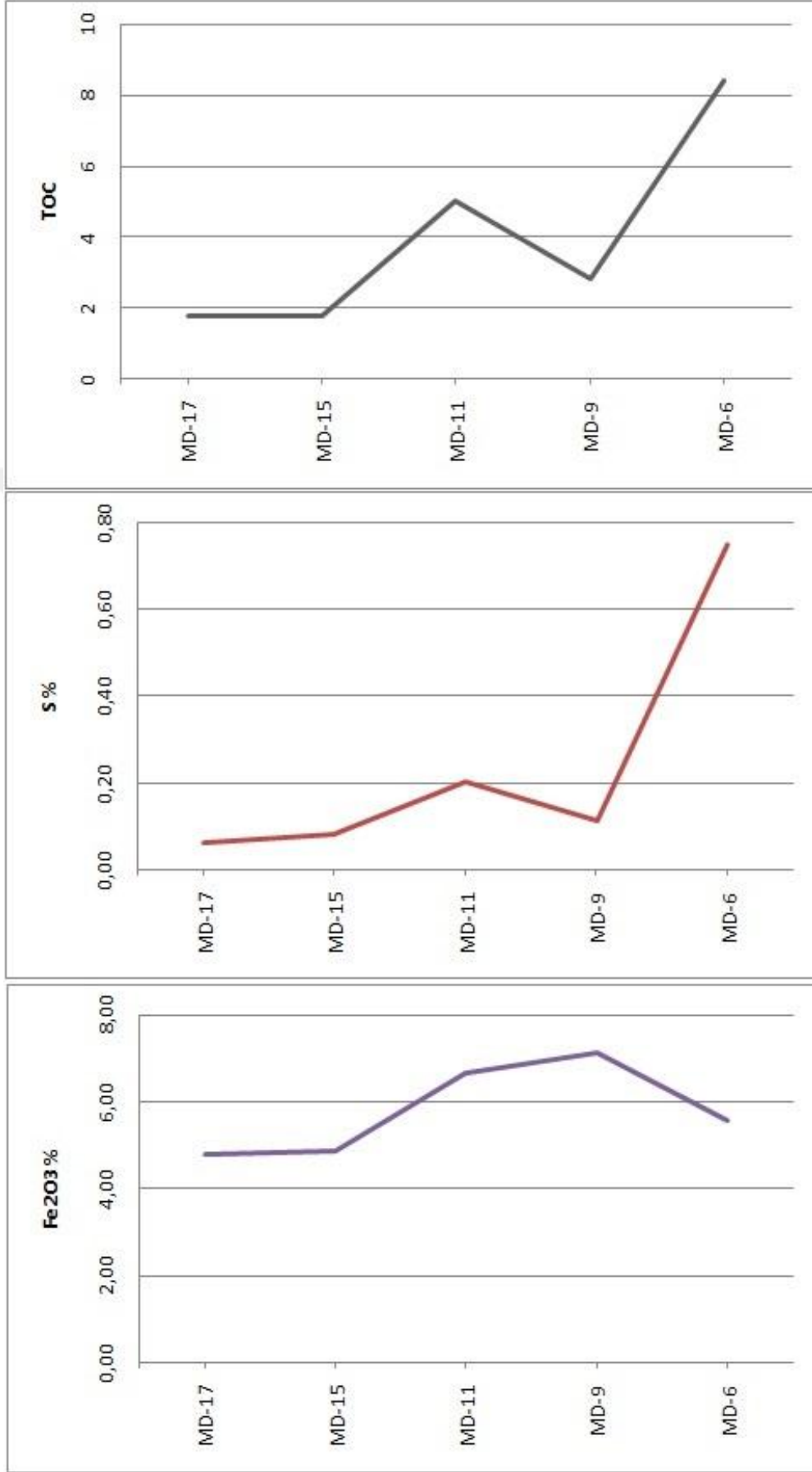
Şekil 4. 2 AP ÖSK tüm kayaç örneklerine ait S-Fe ve TOT/C ilişkileri



Şekil 4.3 AP ÖSK organik maddeli örneklere ait S-Fe ve C_{org} ilişkileri

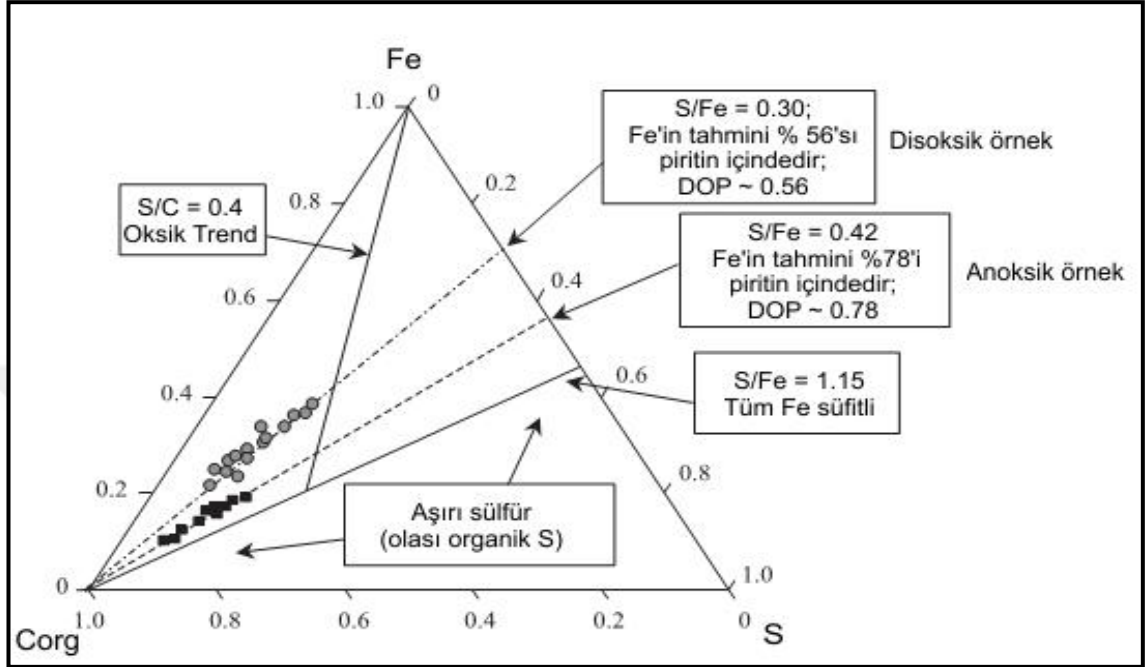


Şekil 4.4 MD ÖSK tüm kayaç örneklerine ait S-Fe ve TOT/C ilişkileri



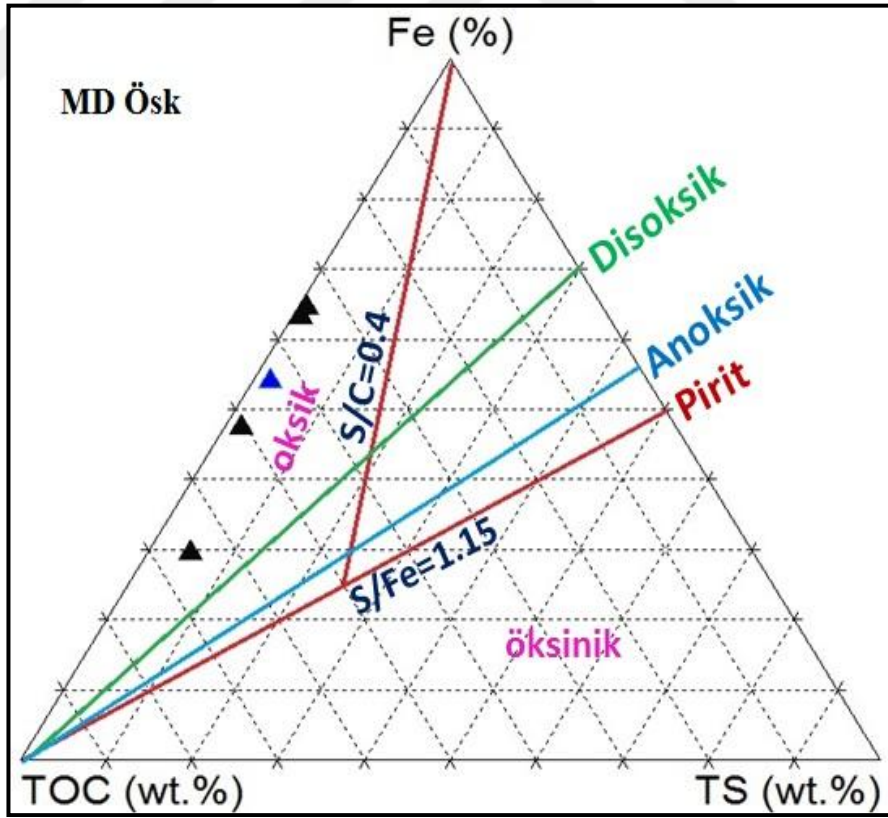
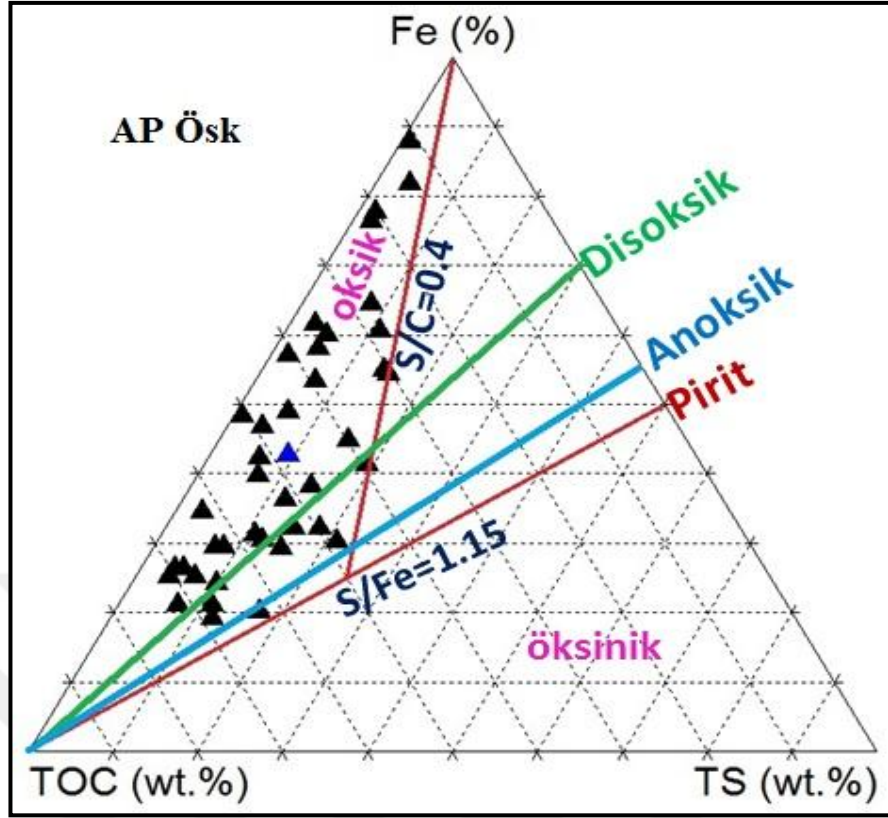
Şekil 4. 5 MD ÖSK organik maddeli örneklerle ait S-Fe ve C_{org} ilişkileri

C_{org} -S-Fe ilişkisi sediman depolanmasındaki redoks koşulların belirlenmesinde yararlı bilgiler sunmaktadır (Şekil 4.6).



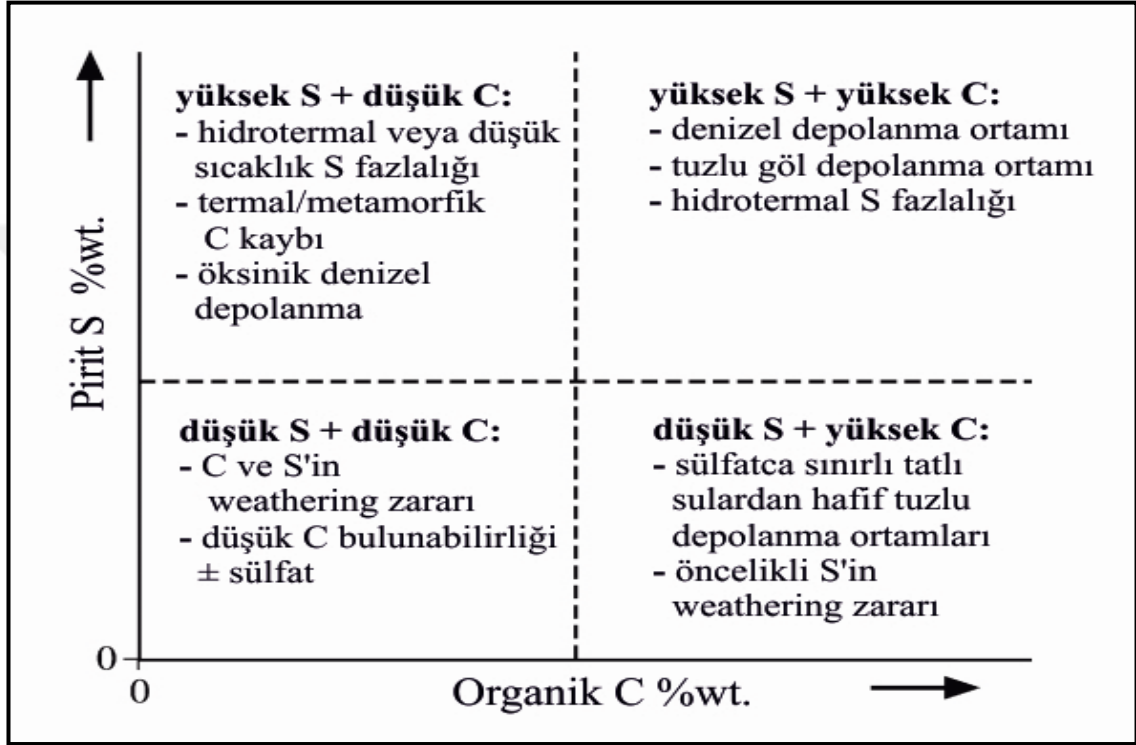
Şekil 4.6 Genel C_{org} -S-Fe ilişkisi (Dean vd. 1989, Arthur vd. 1994)

C_{org} -S-Fe ilişkisi üçgen diyagram üzerinde incelendiğinde örnekler genelde oksik koşulları temsil eden S/C (0,4) çizgisinin sol tarafında yer almaktadır (Şekil 4.7). C_{org} ve S miktarının artmasıyla disoksik bölgesine doğru bir geçiş gözlenmektedir. C_{org} -S-Fe üçgen diyagramına göre incelenen örneklerin S bakımından fakir-orta konsantrasyonlarına sahip olup, öksinik bir ortamı temsil etmediğini, daha çok oksiklik içeren, disoksik depolanma ortamlarında depolanmış oldukları görülmektedir. Bunun yanında S- C_{org} arasındaki korelasyonların da çok zayıf pozitif bir ilişkisinin olması organik madde zenginleşmesinin kuvvetli biçimde olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.7 Dodurga sahasına ait ösk örneklerinin S-Fe ve C_{org} ilişkileri

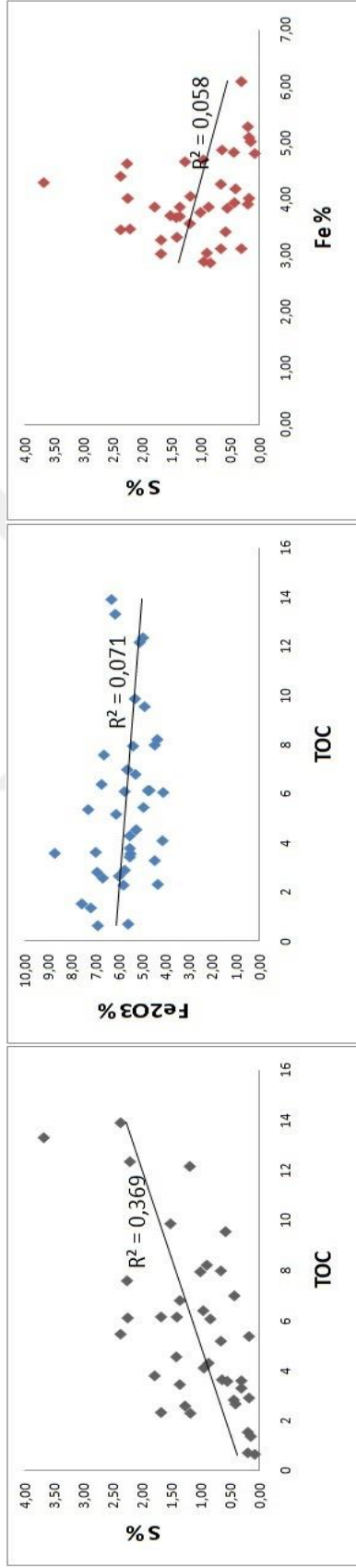
İncelenen örneklerde %S değerinin düşük olması ve C_{org} 'un oldukça yüksek değerler sunması, S- C_{org} diyagramına göre “düşük S + yüksek C” bölgesine düşme ihtimalinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu da, depolanma ortamının sülfatça sınırlı tatlı sulardan veya hafif tuzlu su ortamları ve öncelikli S'nin weathering zararını işaret etmektedir (Şekil 4.8).



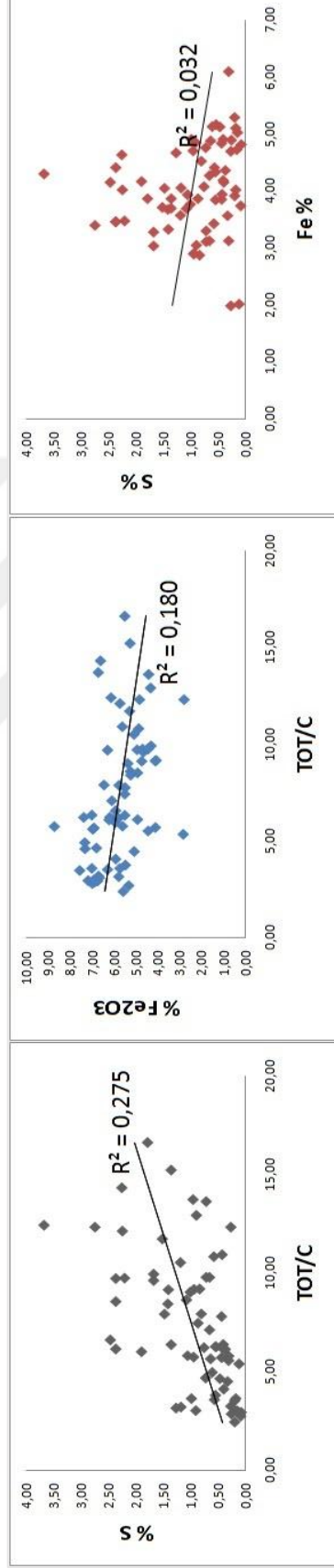
Şekil 4.8 Pirit-S- C_{org} arasındaki genel ilişki (Lyons vd. 2003).

Dodurga Sahası'na ait ÖSK'lardan derlenen organik maddece zengin örneklerin S- C_{org} , Fe_2O_3 - C_{org} , S-Fe, S- C_{org} ilişkileri incelendiğinde; S- C_{org} arasında genellikle zayıf pozitif korelasyon, Fe_2O_3 - C_{org} arasında genellikle zayıf negatif korelasyon, son olarak S-Fe arasında ise genellikle zayıf negatif korelasyonun varlığı gözlenmektedir (Şekil 4.9-4.10). Bu durum Dodurga Sahası depolanma ortamının genellikle oksik ve disoksik olduğuna işaret eder.

AP ÖSK – Tüm kayaç örnekleri

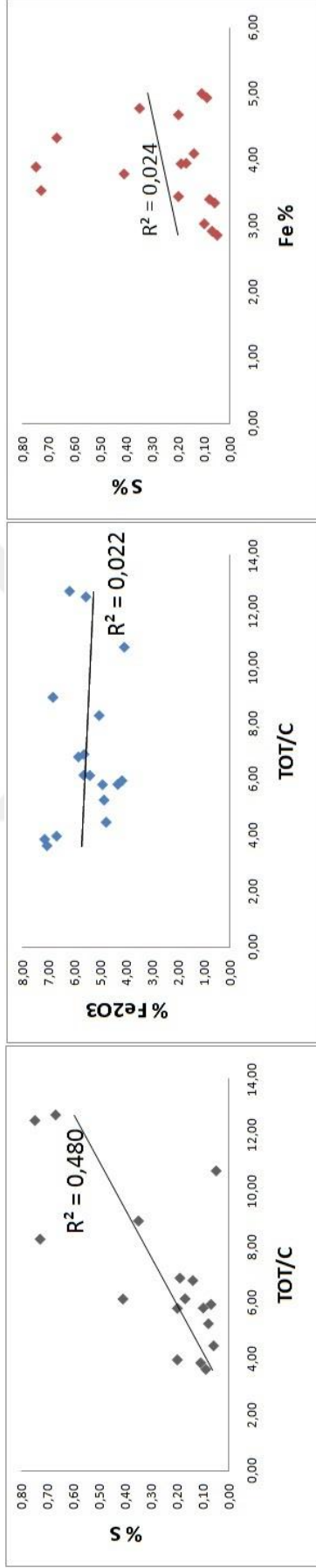


AP ÖSK – Organik maddeli örnekler

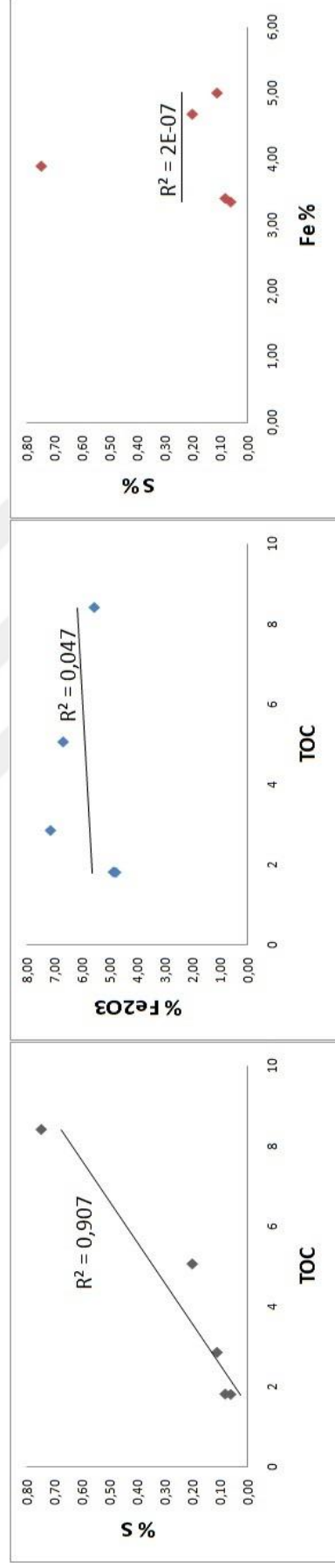


Şekil 4.9 Dodurga sahasına ait AP ÖSK’da incelenen örneklerin S-C_{org}, Fe₂O₃-C_{org} ve S-Fe ilişkileri

MD ÖSK – Tüm kayaç örnekleri



MD ÖSK – Organik maddeli örnekler

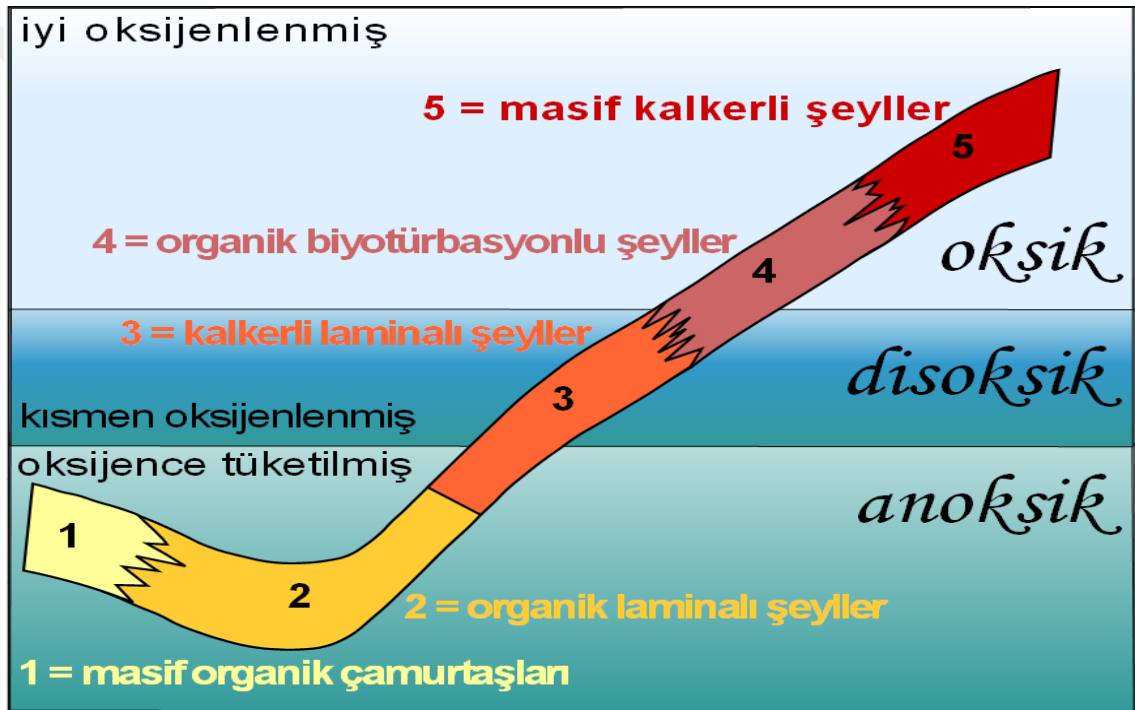


Şekil 4.10 Dodurga sahasına ait MD ÖSK’da incelenen örneklerin S-C_{org}, Fe₂O₃-C_{org} ve S-Fe ilişkileri

Dodurga Sahası depolanma ortamının genellikle oksik ve disoksik olduğu incelenen örneklerin mineralojik özellikleri ve örneklerin ana oksit incelemelerinde de net bir şekilde ortaya konulmuştur.

4.2 Depolanma Ortamı Redoks Koşullarının Mineral Bileşimine Etkisi

Depolanma ortamının indirgen ya da yükseltgen olmasına bağlı olarak kayaçların mineral bileşimleri değişmektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Kayaç bileşimleri ve depolanma ortamlarının redoks ilişkileri

Bazı mineraller redoks koşulu belirteçleri olarak kullanılabilir. Bunlara örnek olarak redoks koşulu belirteci olan ve Fe içeren mineraller;

Hematit (Fe_2O_3): Oksik Koşulları Belirtir. Organik madde korunumu yoktur.

Siderit ($FeCO_3$): Disoksik Koşulları Belirtir. Organik madde korunumu kısmen vardır.

Pirit (FeS_2): Anoksik Koşulları Belirtir. Organik madde korunumu çok yüksektir.

Kayaçların daha çok karbonatlı bir mineralojik yapıya sahip olmaları da depolanma ortamının oksik ve disoksik olduğuna işaret eder. İncelenen bitümlü kayaçlarda hematit mineraline rastlanmaması ortamın oksik olmadığına işaret eder. Yaygın olarak pirit ve siderit mineralinin görülmesi sahanın yarı indirgen olarak kabul edilecek disoksik ve/veya anoksik şartlara sahip olduğunu gösterir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 XRD analizinden elde edilen kil dışı mineral bileşimleri

Örnek No	Kil Dışı Mineraller
AP 31	Kuars, albit, silvin, kalsit, pirit
AP 34	Kuars, albit, kalsit, pirit, dolomit
AP 37	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, halit
AP 42	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, halit, rodokrozit
AP 46	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, siderit, kalkopirit
AP 53	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, siderit, jips, kristobalit
AP 56	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, siderit, kristobalit
AP 65	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, siderit, kristobalit
AP 67	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, siderit, kristobalit
AP 72	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, siderit, kristobalit
AP 79	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, siderit, kristobalit
AP 81	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, siderit, kristobalit
AP 83	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, siderit, kristobalit
AP 85	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, siderit, kristobalit
AP 87	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, siderit, kristobalit
AP 90	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, siderit, kristobalit, kalkopirit, sölestin
AP 94	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, siderit, kristobalit
AP 98	Kuars, albit, kalsit, dolomit, pirit, siderit, kristobalit

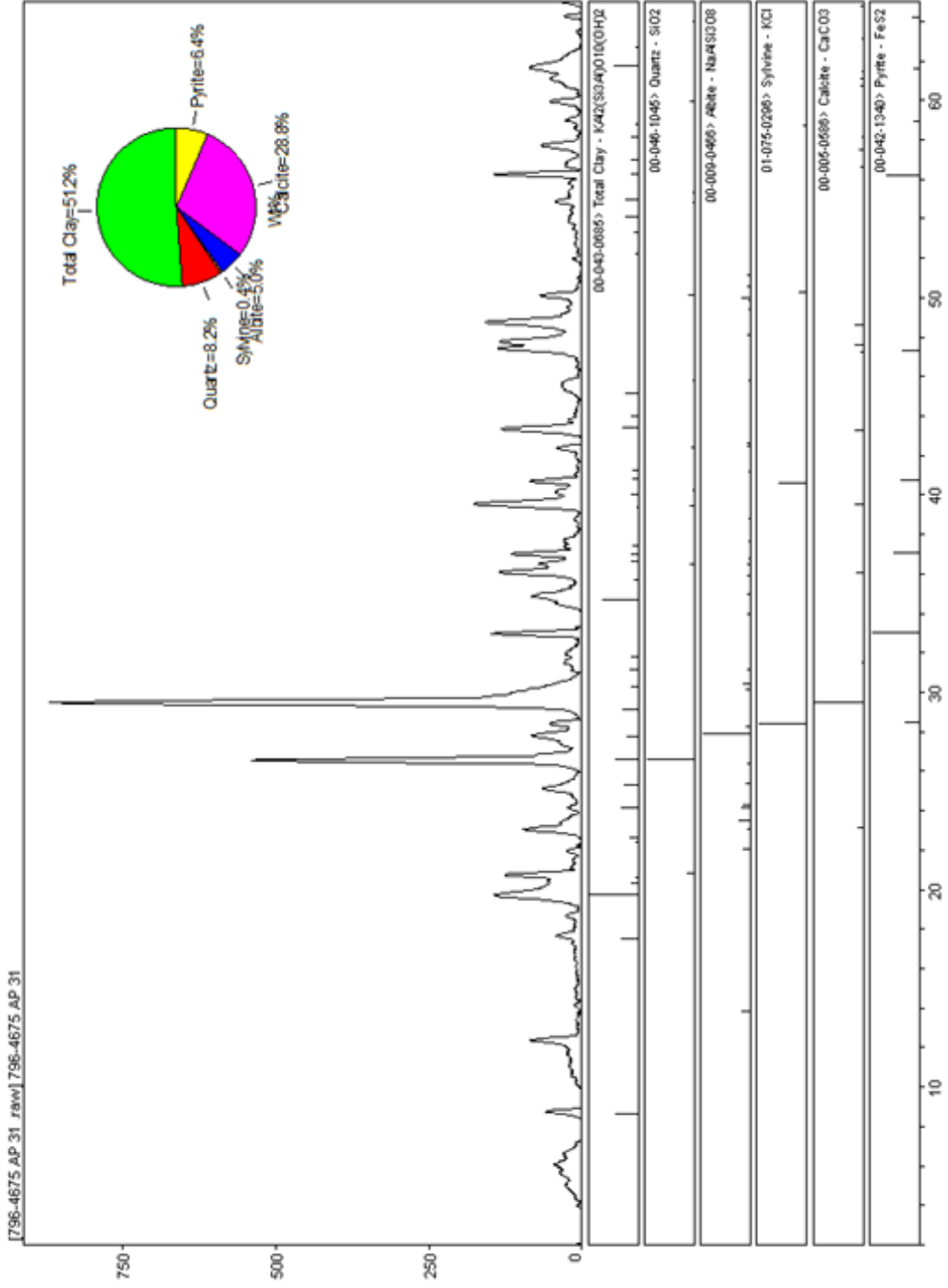
İncelenen örneklerde yaygın olarak görülen kil mineralleri simektit ve illit olup, kısmen de kaolinit minerali tespit edilmiştir. Simektit minerali genellikle yarı indirgen, sakin

suların bir göstergesi olarak bilinirken tam tersi kaolinit minerali ise daha enerjili ve oksijenli ortam minerali olarak değerlendirilebilir (Çizelge 4.2).

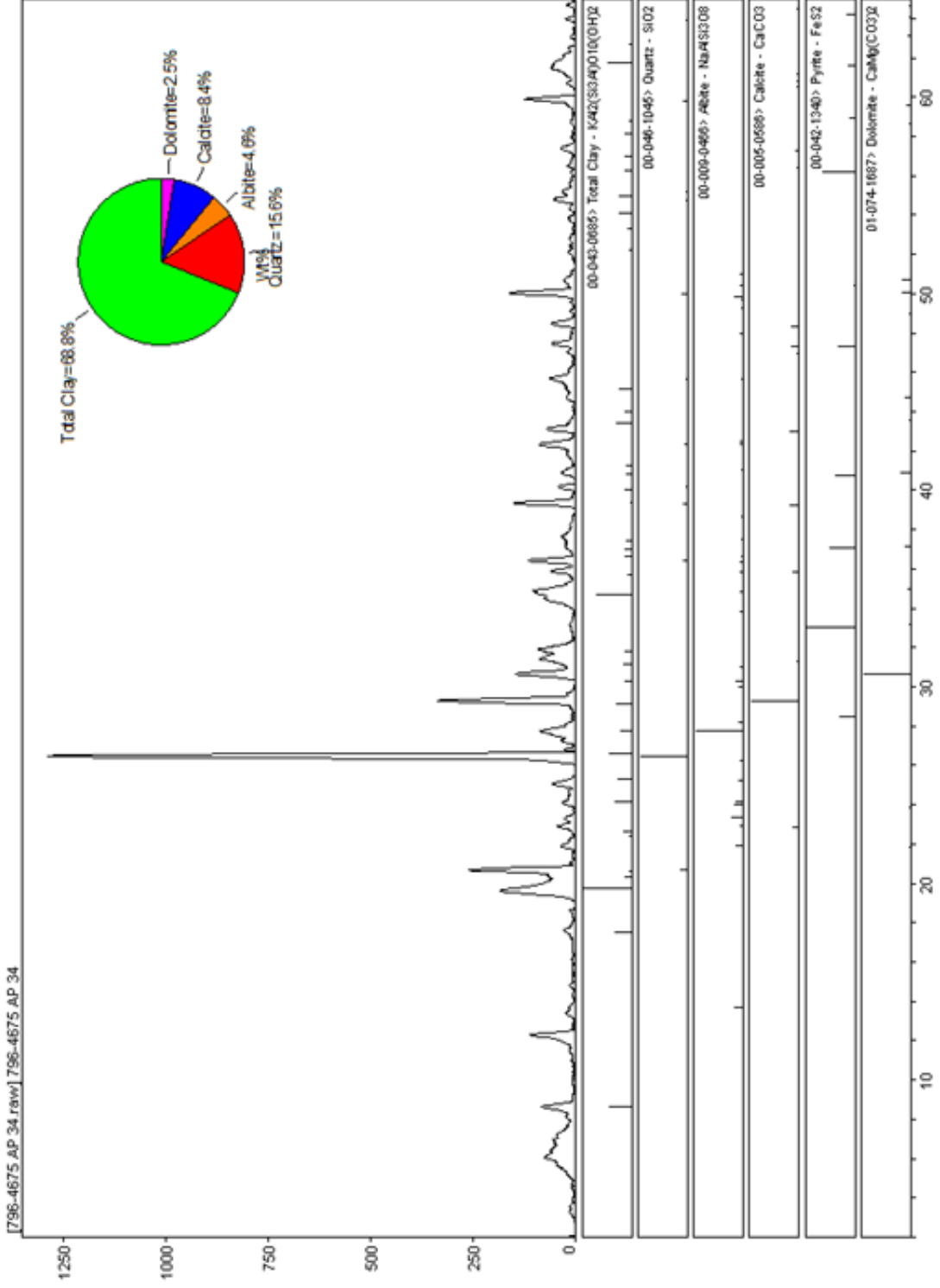
Çizelge 4.2 XRD analizinden elde edilen kil mineralleri ve yüzde (%) oranları

Örnek No	Simektit	İllit	Kaolinit
AP 31	30	62	8
AP 34	77	13	10
AP 37	75	18	7
AP 42	77	12	11
AP 46	23	64	13
AP 53	40	51	9
AP 56	62	23	15
AP 65	55	33	12
AP 67	76	14	10
AP 72	62	28	10
AP 79	71	21	8
AP 81	53	39	8
AP 83	68	17	15
AP 85	65	20	15
AP 87	34	52	14
AP 90	70	15	15
AP 94	59	32	9
AP 98	40	45	15

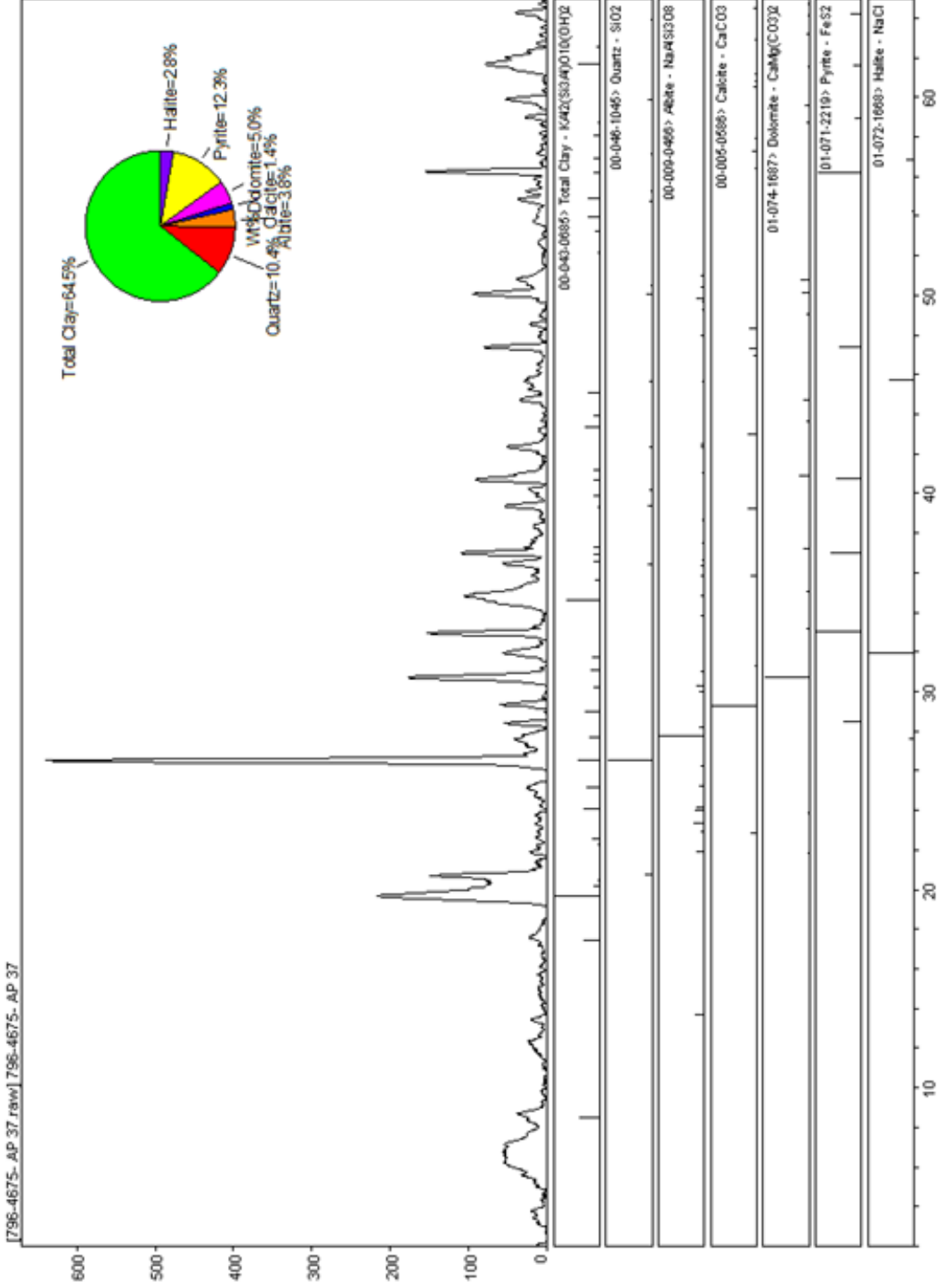
XRD analiz sonuçlarından elde edilen mineral bileşimleri değerlendirilmiş ve bunlara göre depolanma ortamı yorumu yapılmıştır (Şekil 4.12-4.29).



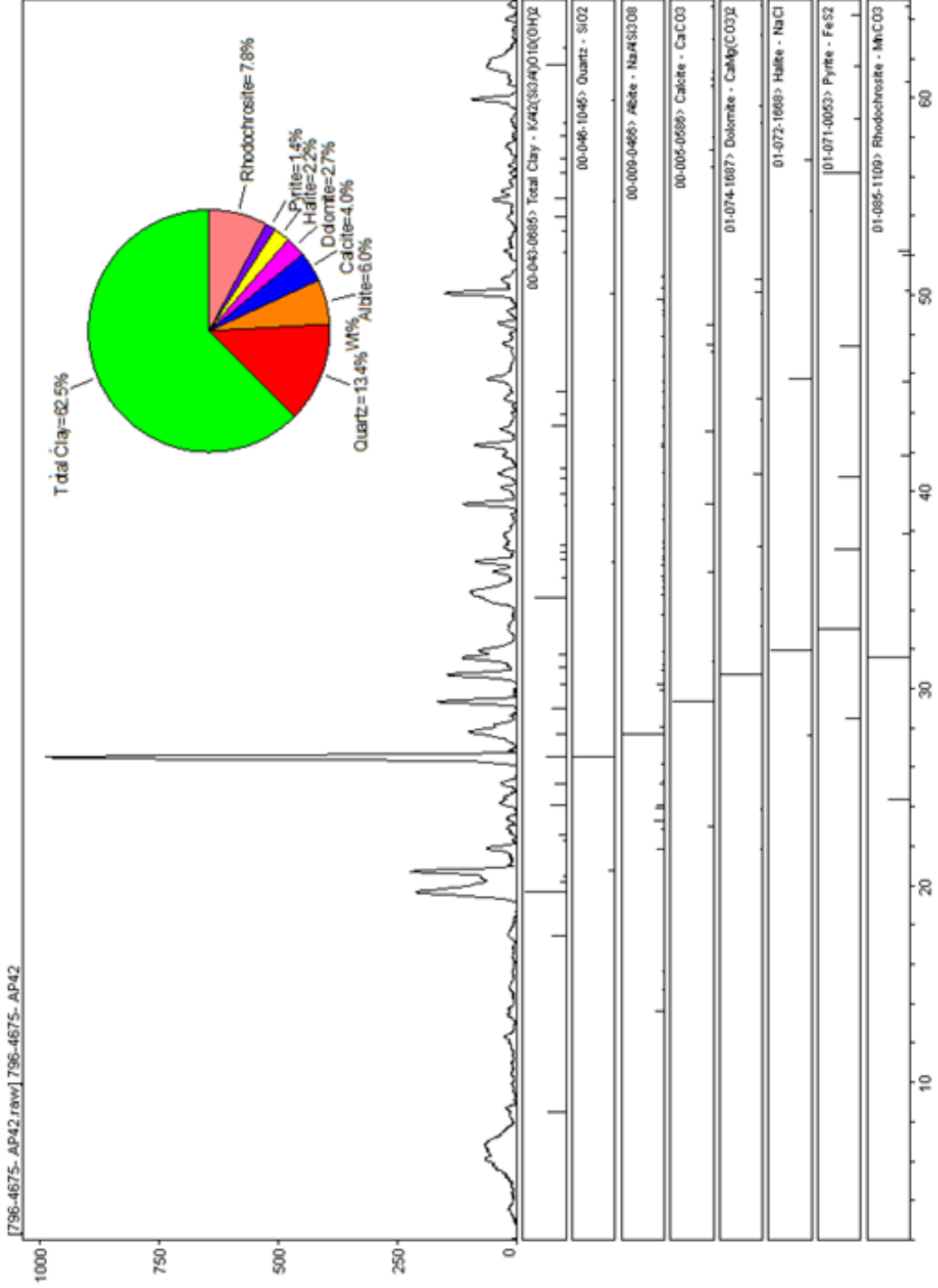
Şekil 4.12 AP 31 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



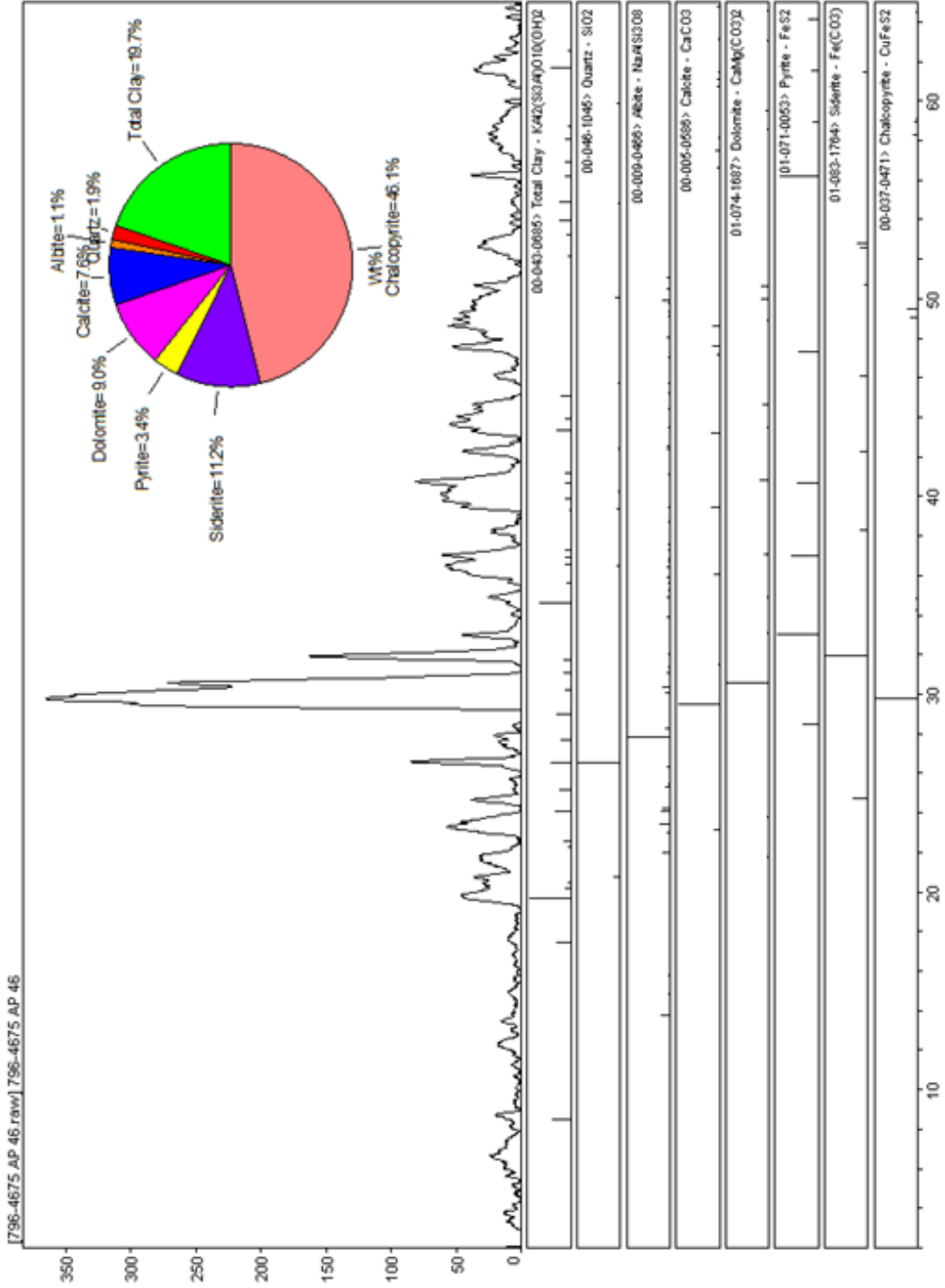
Şekil 4.14 AP 34 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



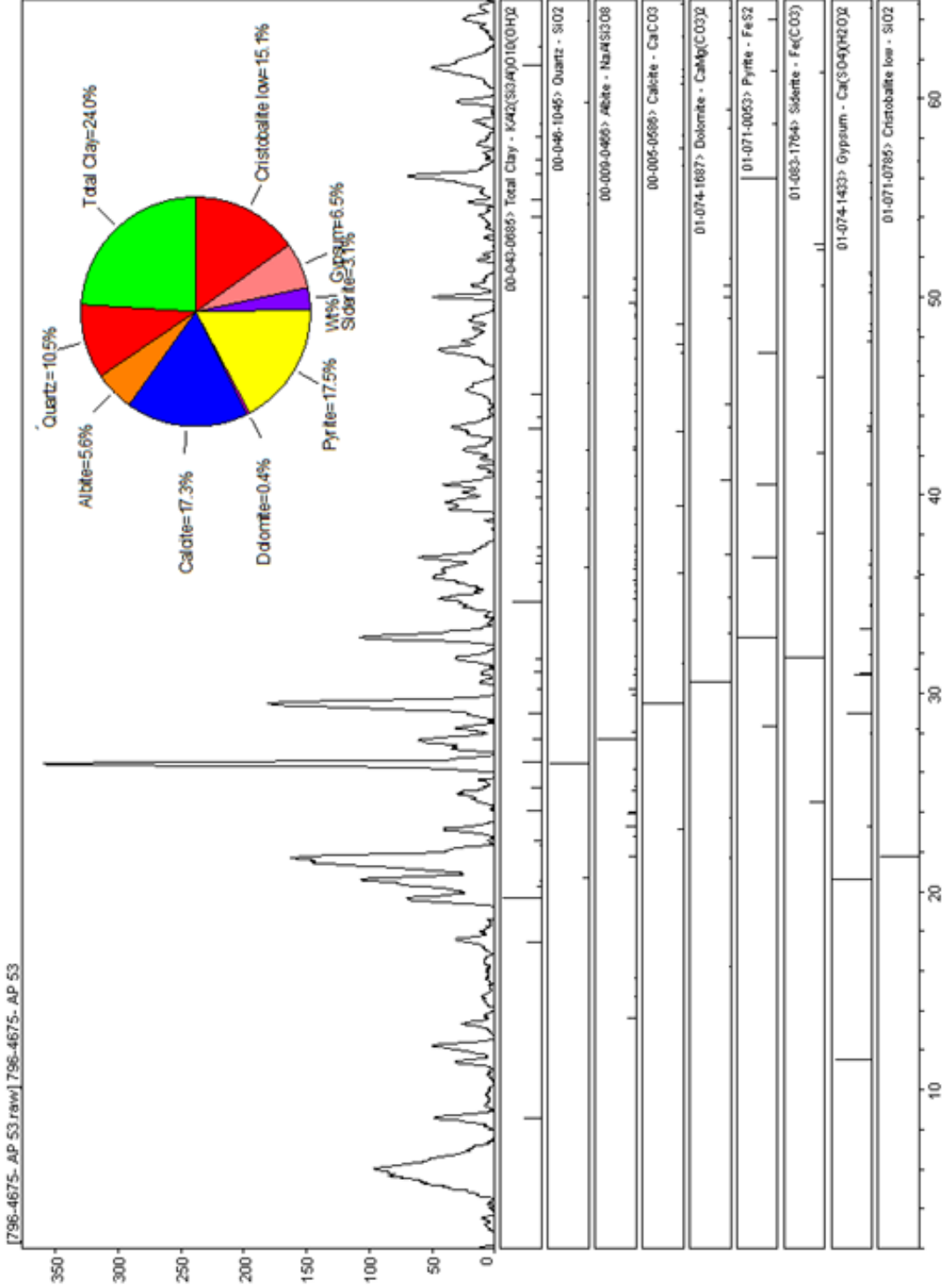
Şekil 4.15 AP 37 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



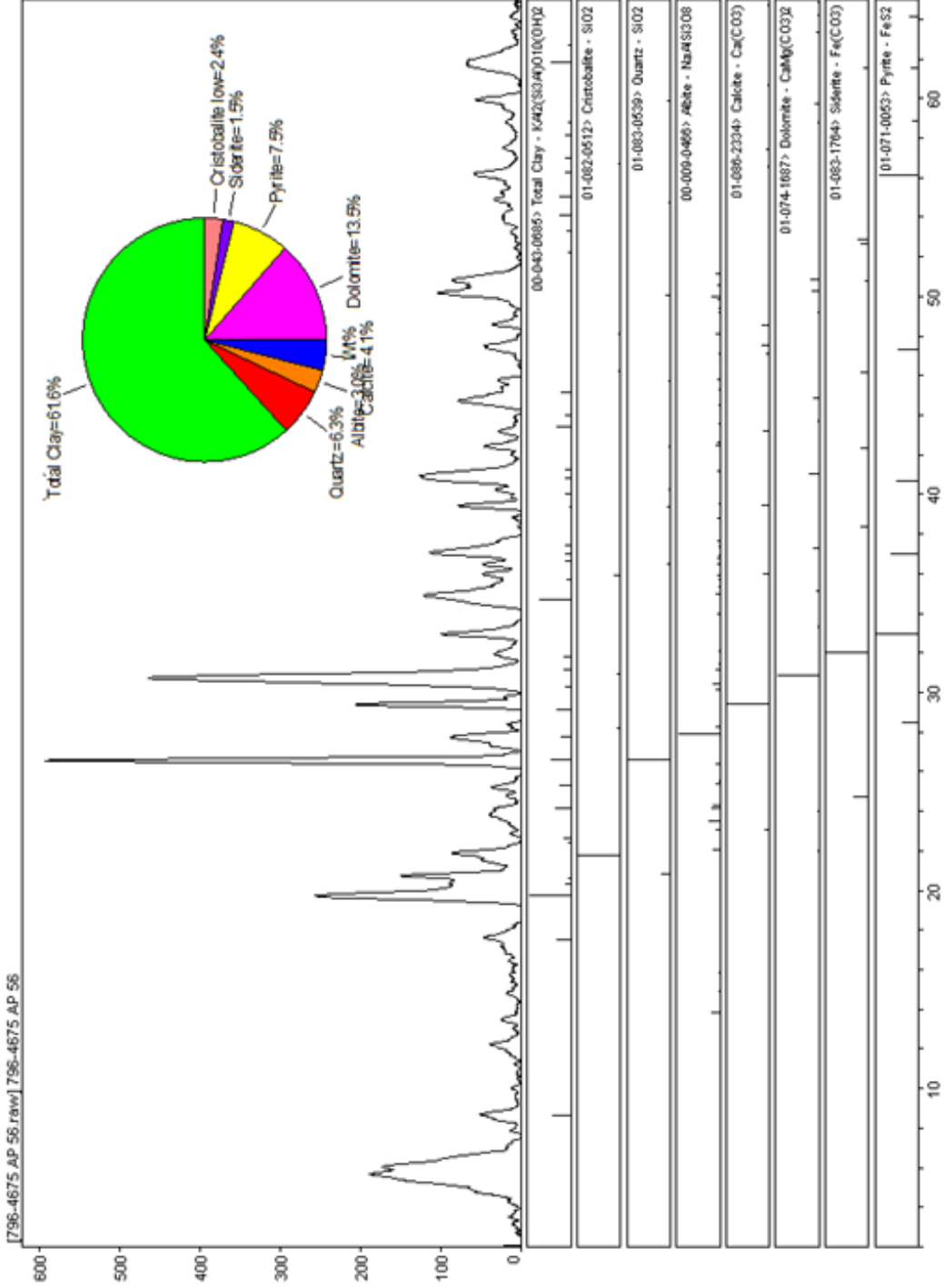
Sekil 4.16 AP 42 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



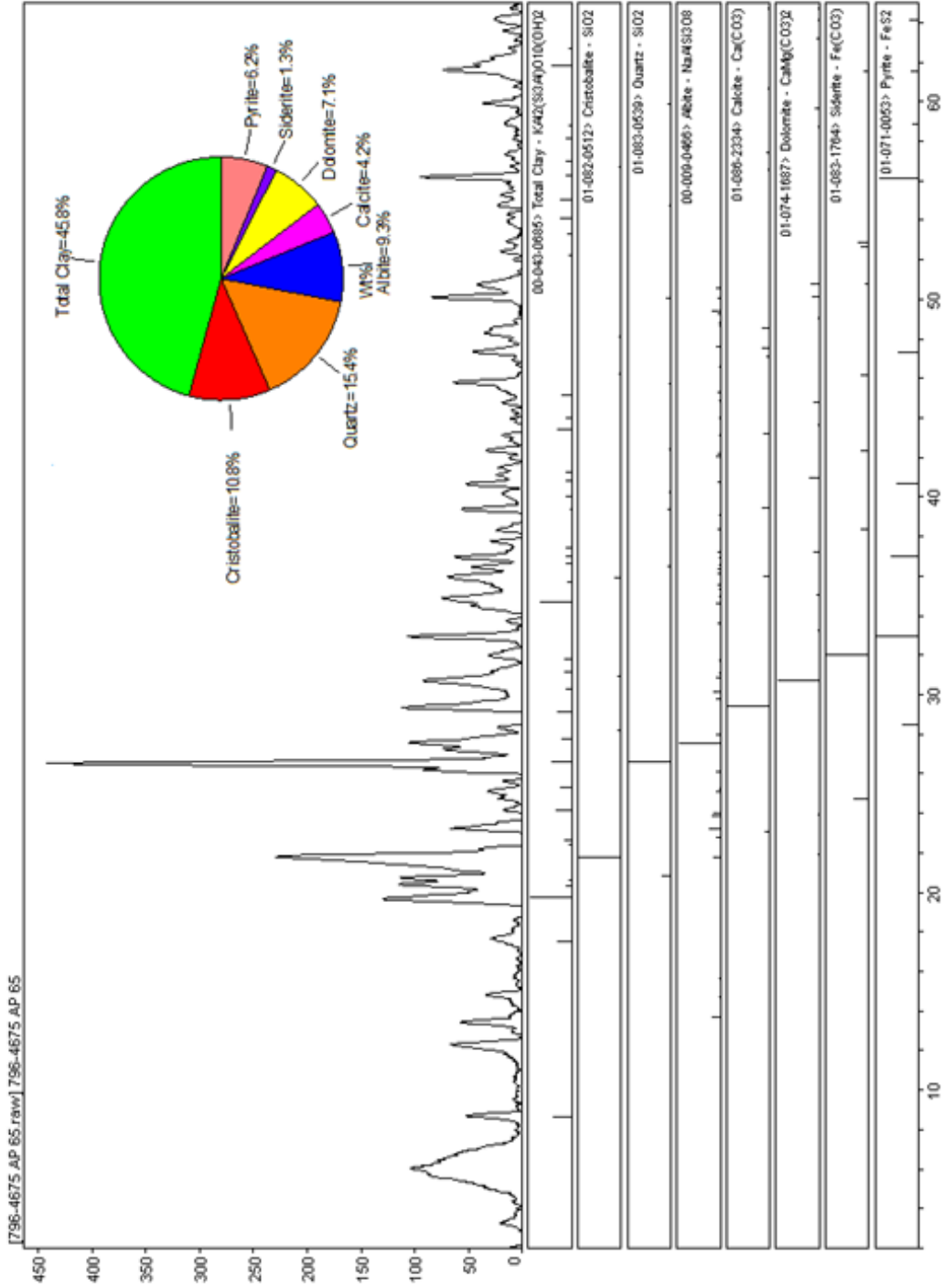
Şekil 4.17 AP 46 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



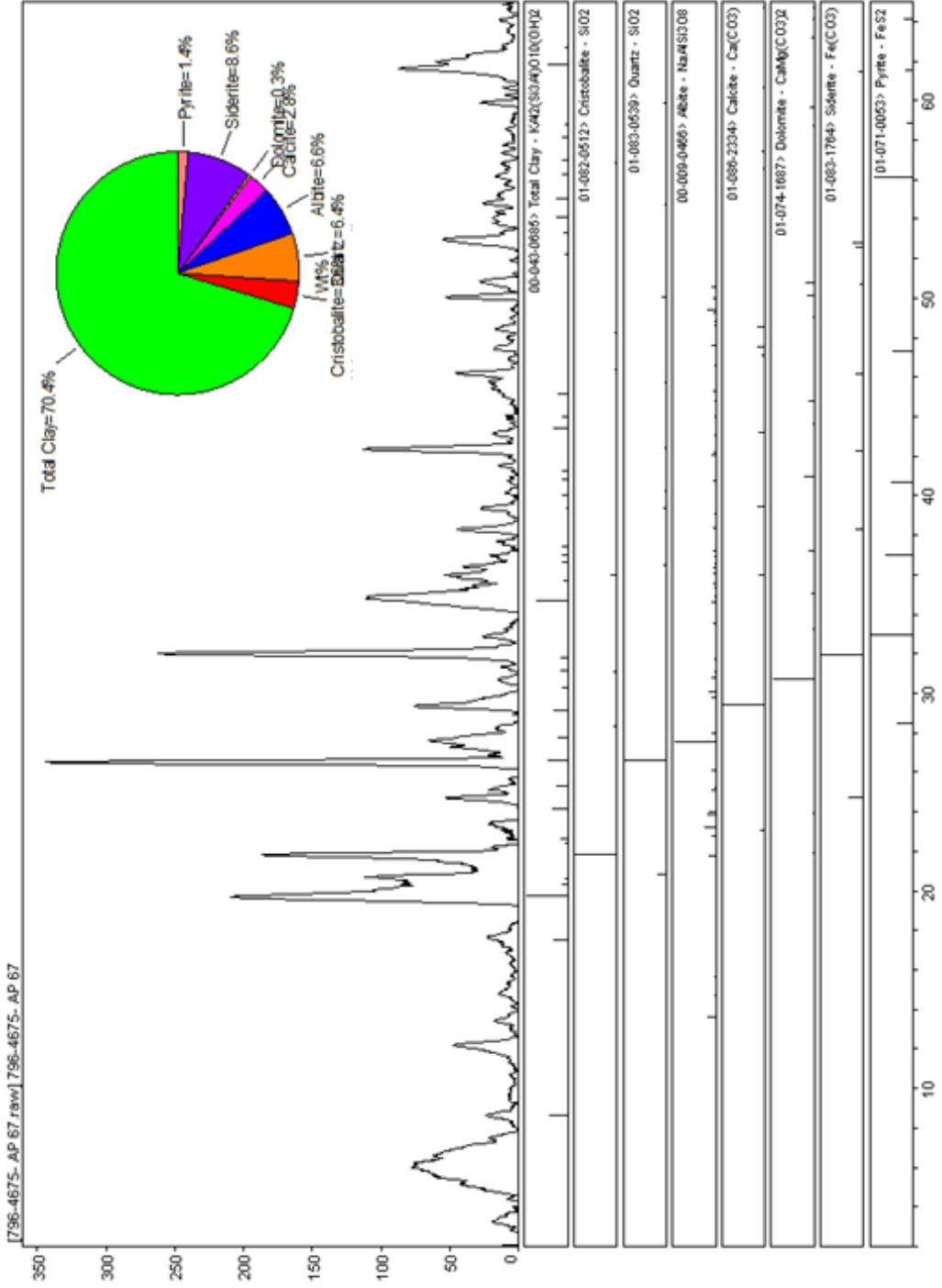
Şekil 4.18 AP 53 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



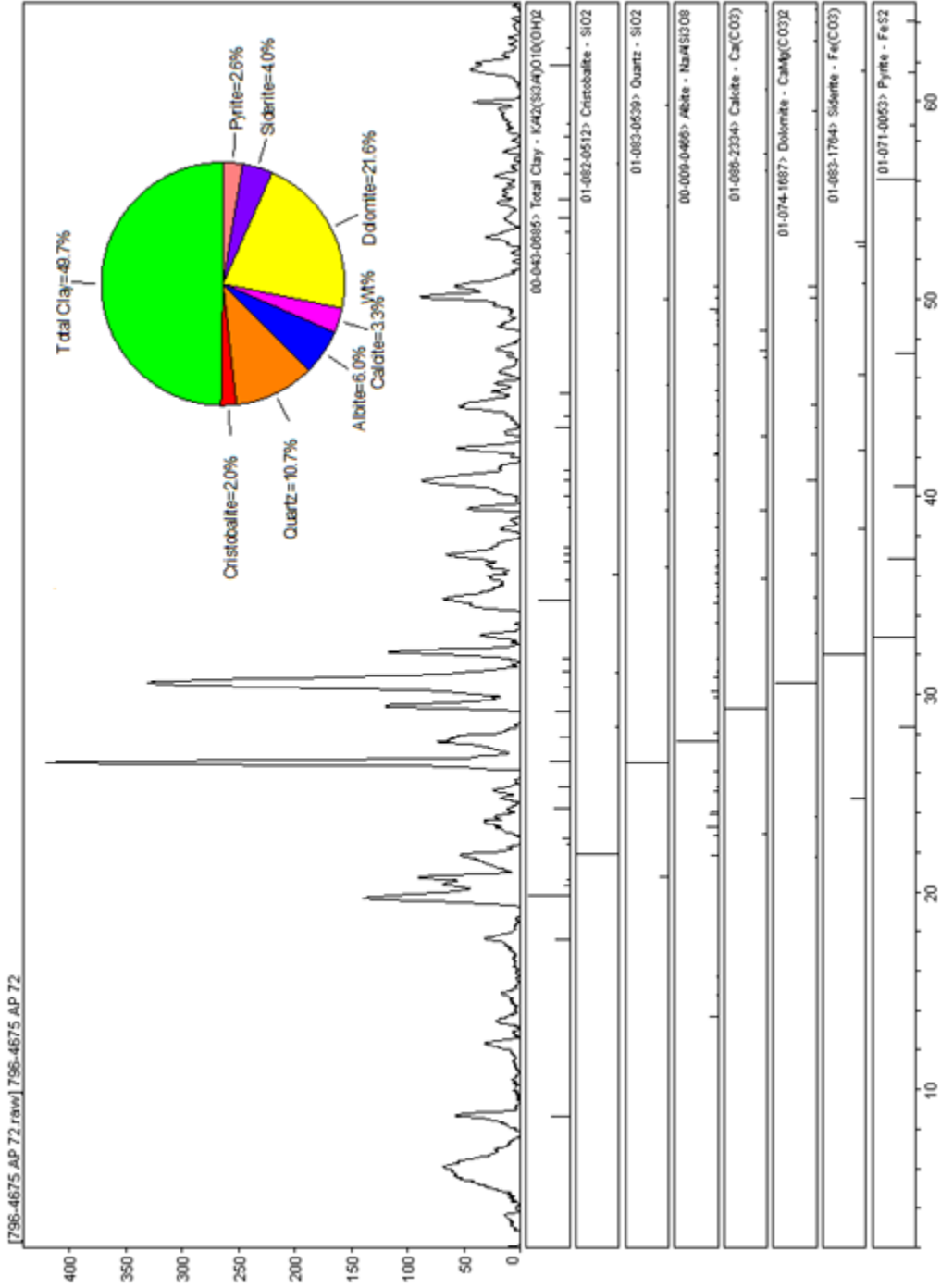
Şekil 4.19 AP 56 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



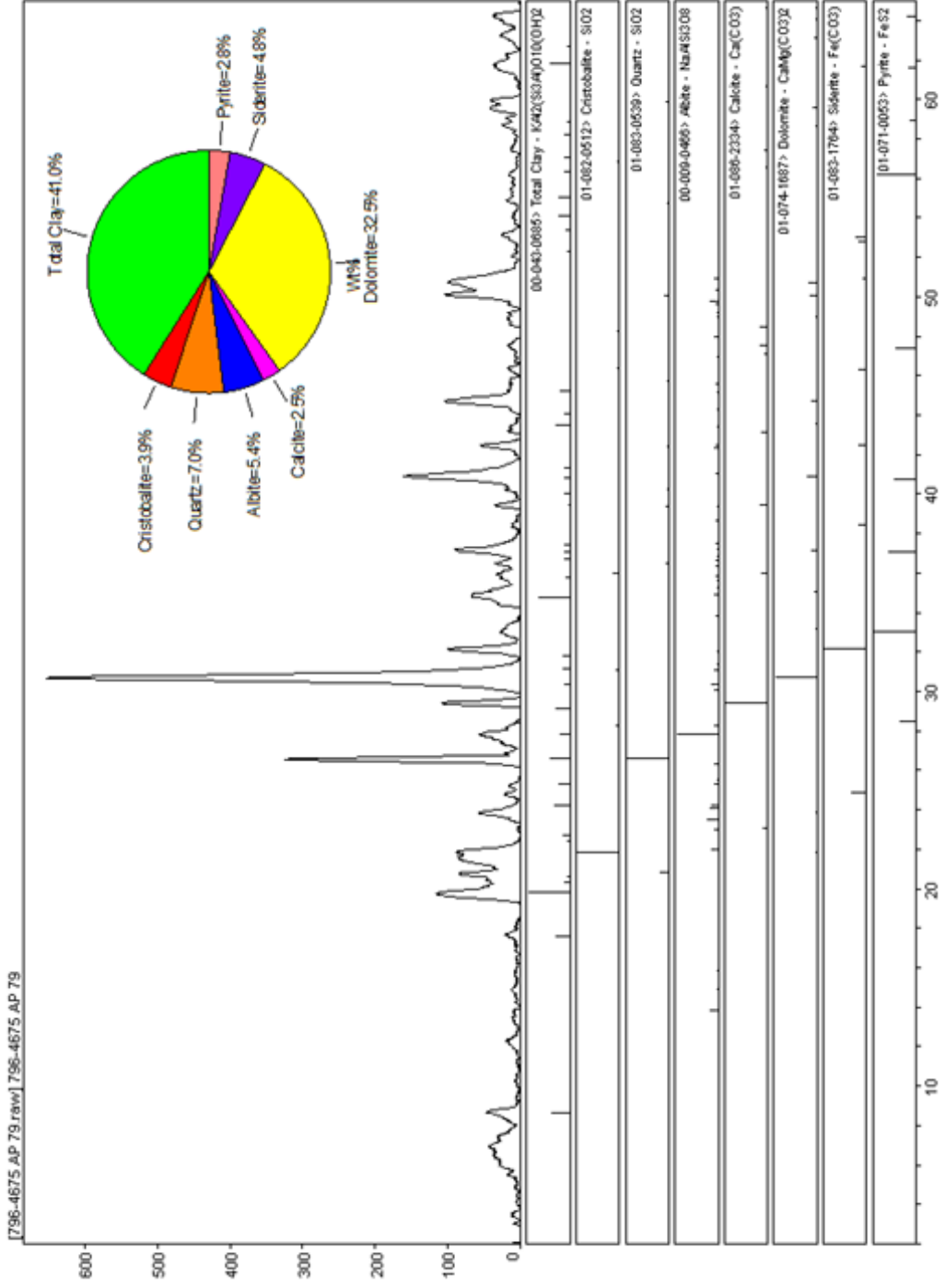
Şekil 4.19 AP 65 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



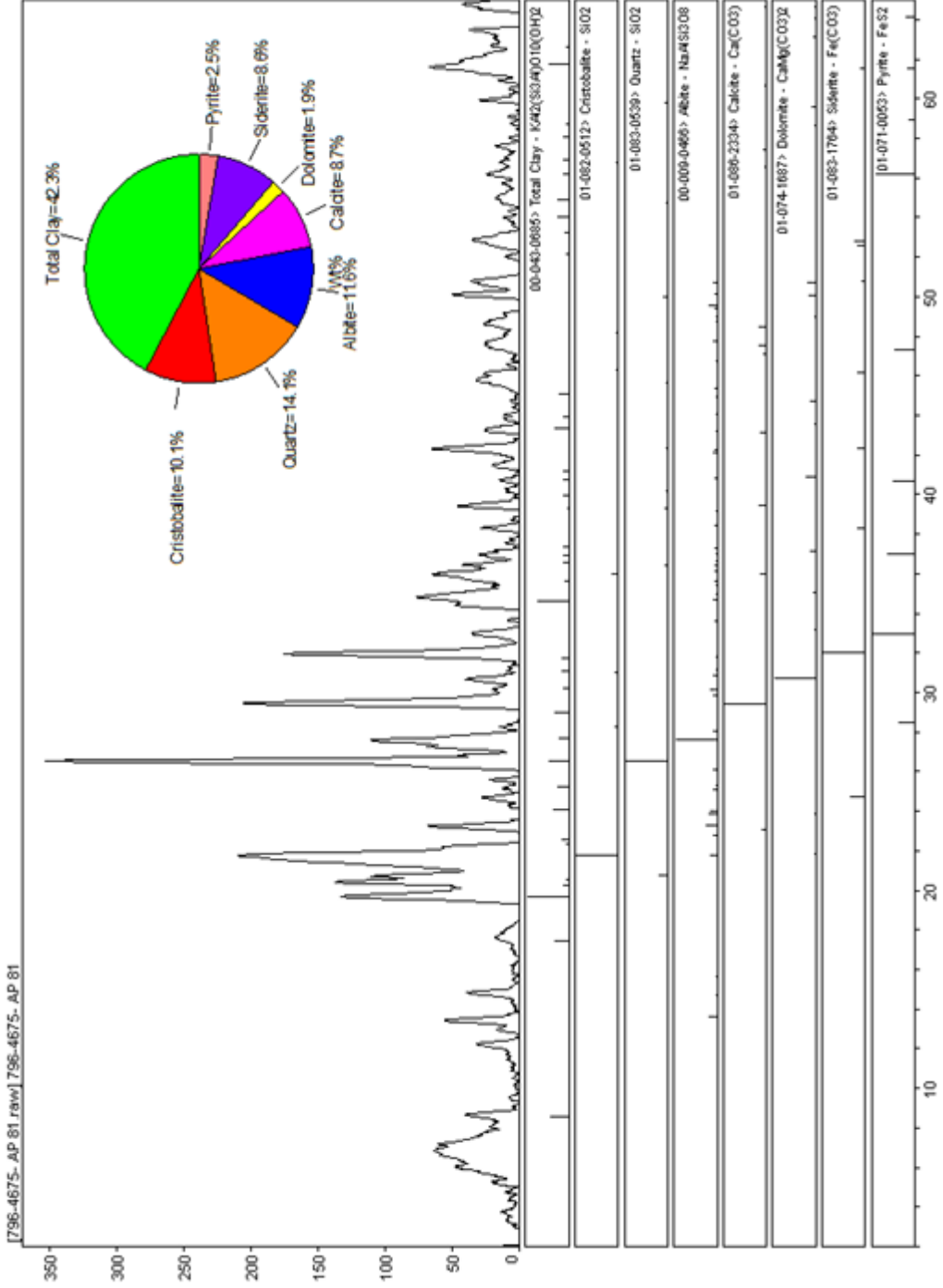
Sekil 4.20 AP 67 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



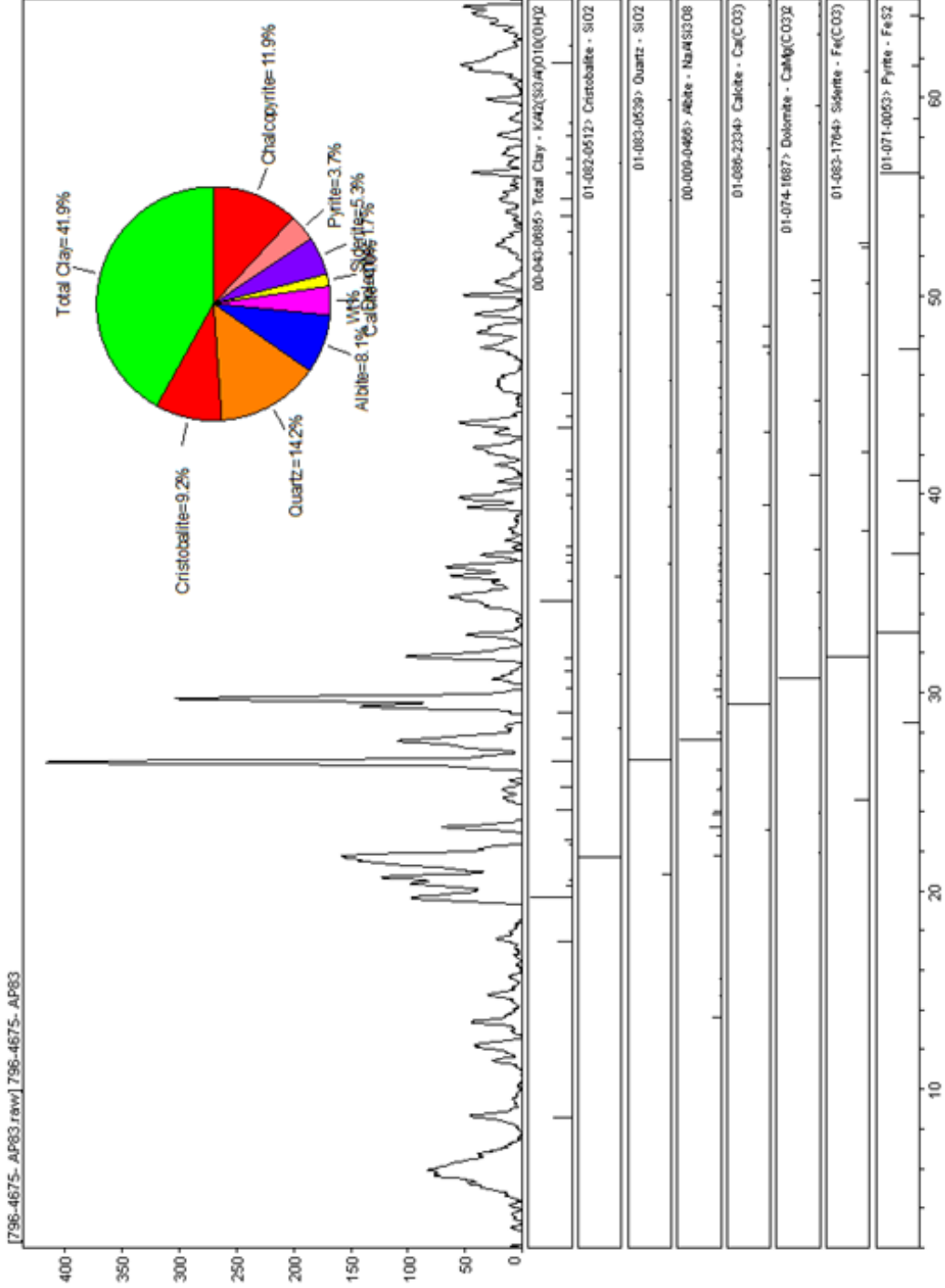
Şekil 4.21 AP 72 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



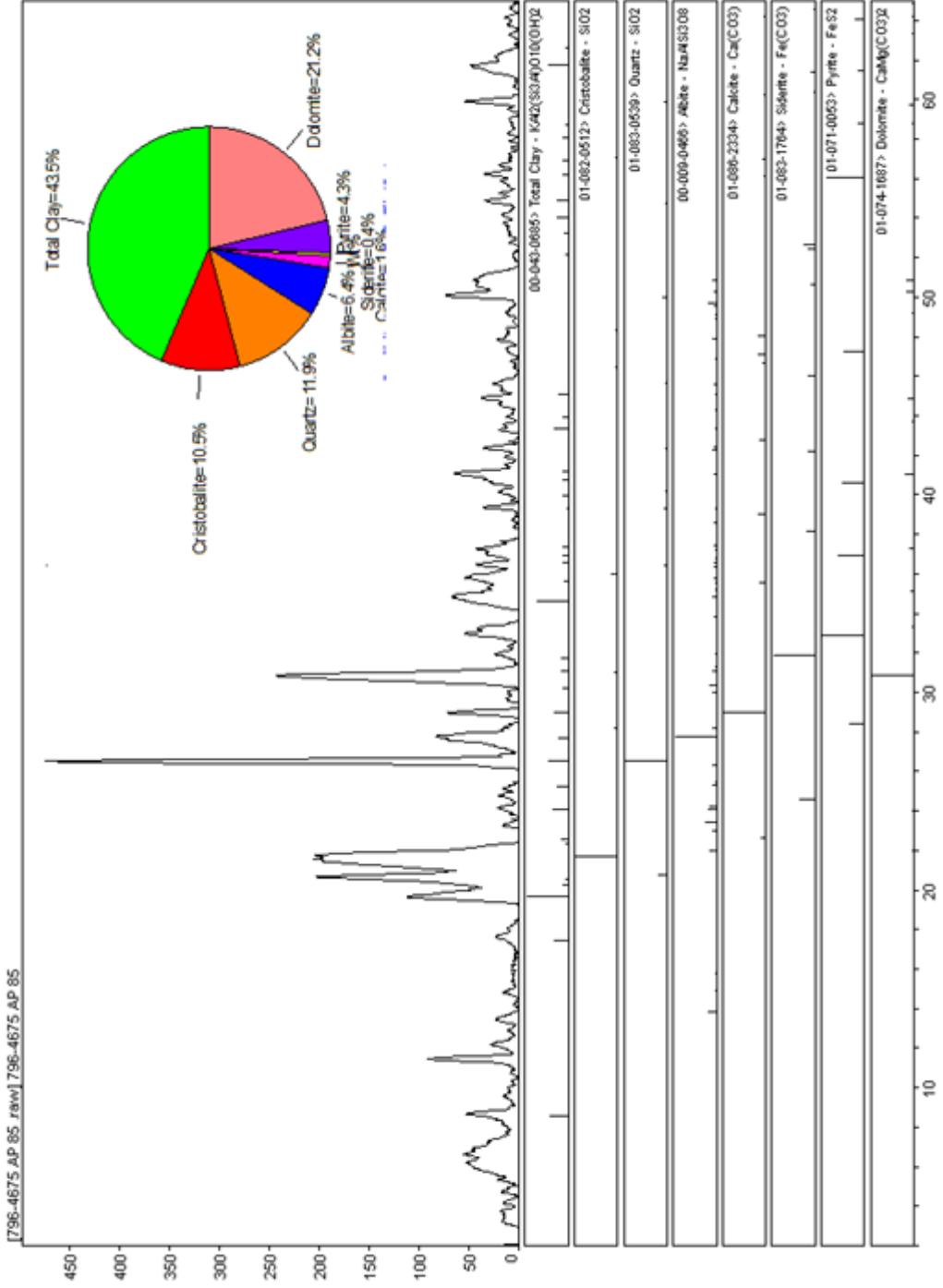
Şekil 4.22 AP 79 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



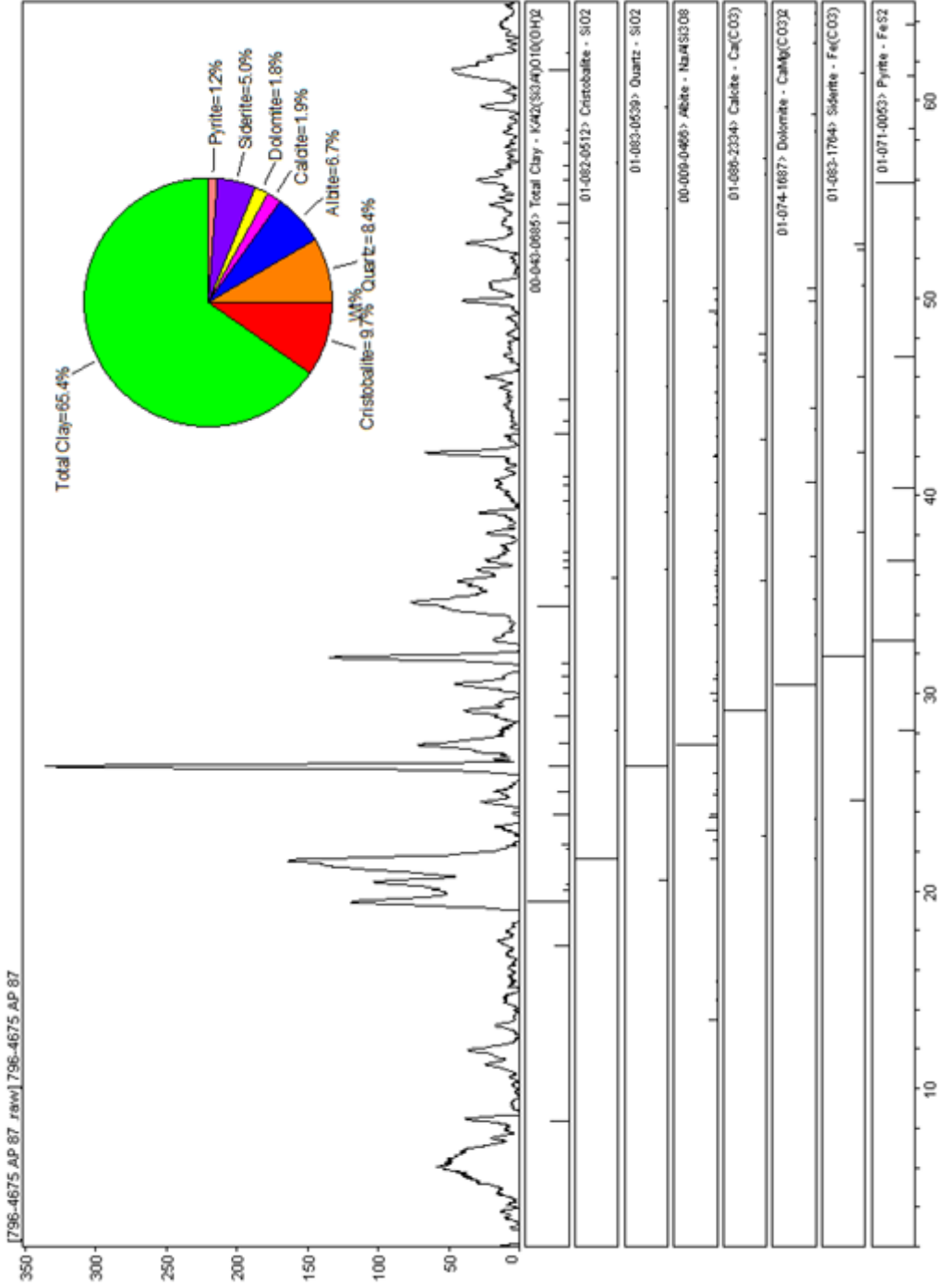
Şekil 4.23 AP 81 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



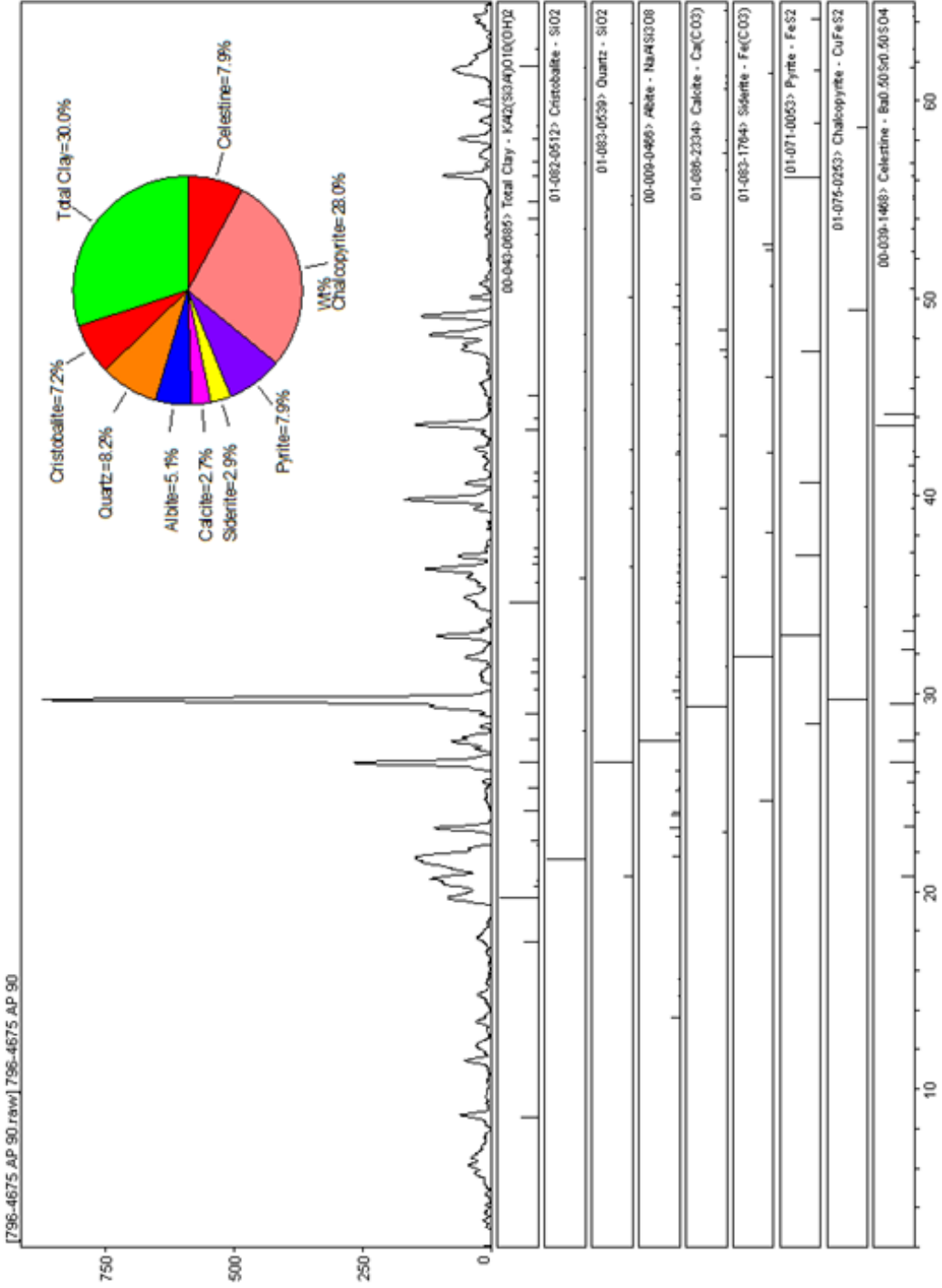
Şekil 4.24 AP 83 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



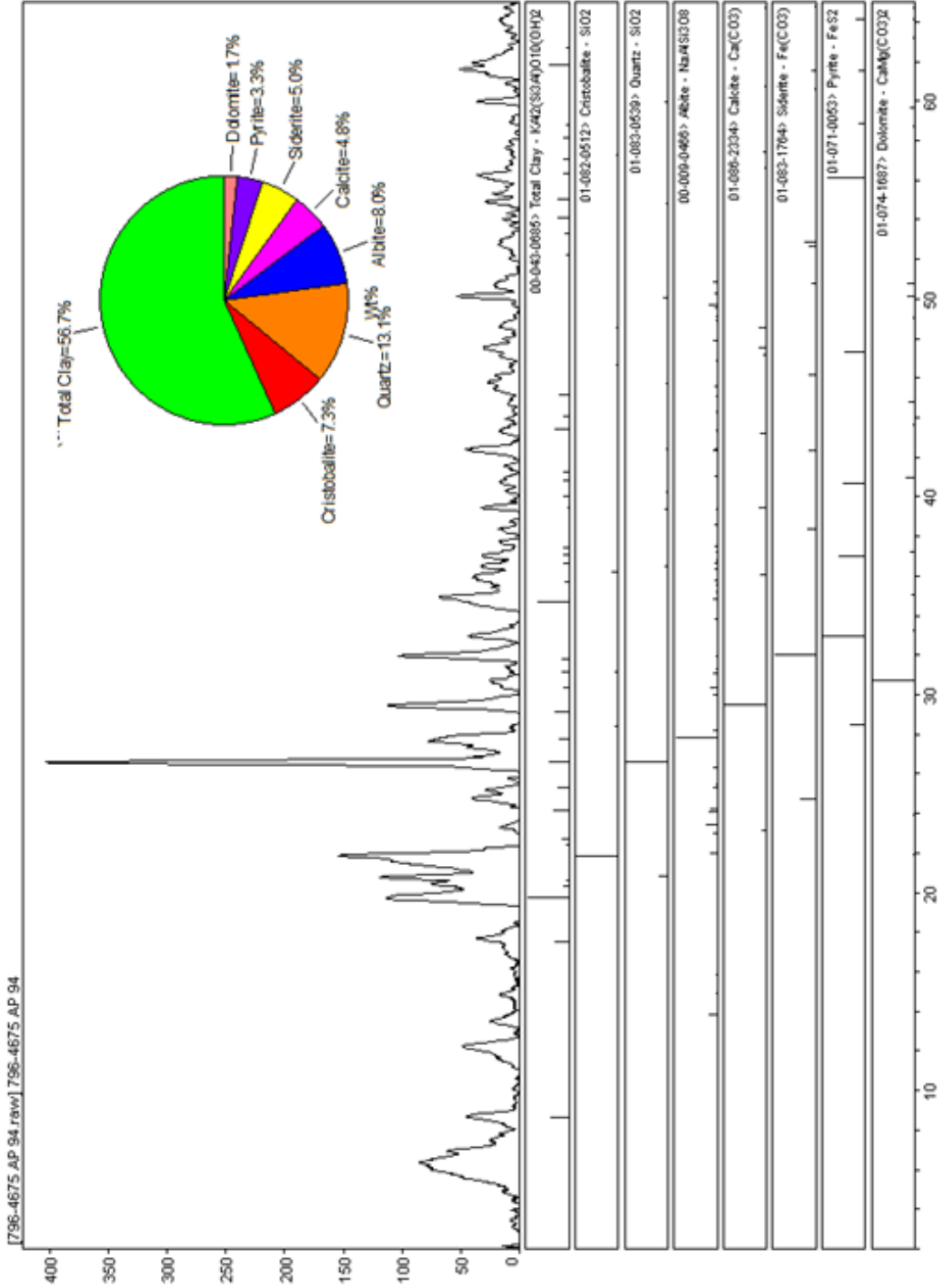
Şekil 4.25 AP 85 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



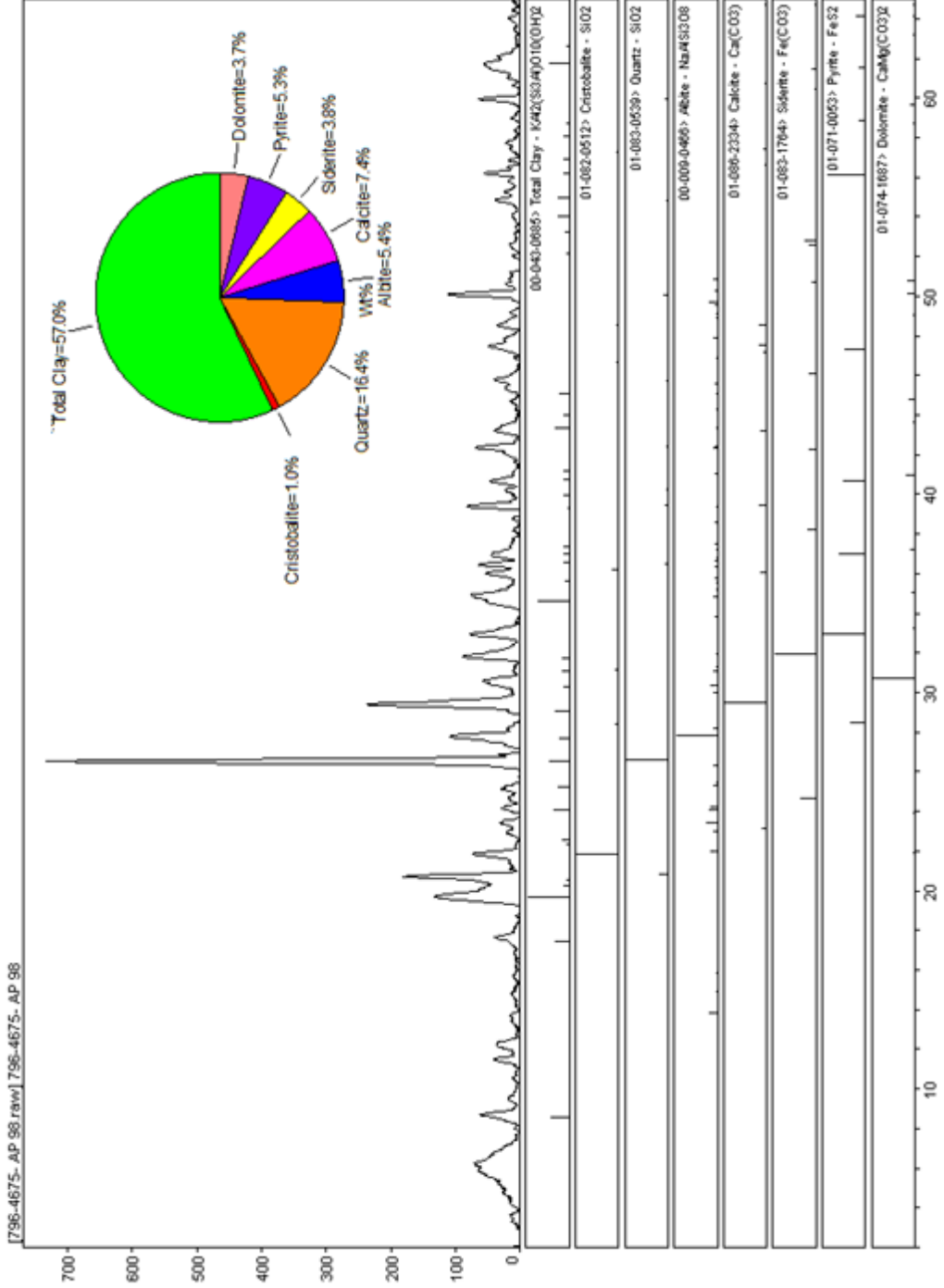
Şekil 4.26 AP 87 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



Şekil 4.27 AP 90 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



Şekil 4.28 AP 94 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi



Şekil 4.29 AP 98 numaralı örneğe ait XRD difraktogramı ve kantitatif yüzde (%) mineral bileşimi

4.3 Depolanma Ortamı Paleoredoks Parametreleri

Paleoortam koşullarını yorumlamak için bağımsız jeokimyasal belirteçlerin iz element konsantrasyonları kullanılır (Crusius vd. 1996, Algeo 2004). Çoğunlukla bitümlü şeyllerle ilişkili olarak bilinen Ni, Co, Cu, Zn, V, Mo, Cr, Ba, Cd ve P gibi çeşitli elementler paleoredoks koşullarının belirlenmesinde kullanılabilir. Fakat bu elementlerin farklı davranışları bulunmaktadır (Şekil 4.30). Ni, Co, Cu ve Zn elementleri organik madde türleri üzerine adsoblanır. Çeşitli güncel çalışmalarda, iz metal konsantrasyon verileri, su kütlesinin kimyasal gelişimini, derin sulardaki bulunma süresi ve anoksik tabanlı basenlerin sınırlanma derecesini içeren paleoortam parametrelerinin geniş alanını ilgilendiren bilgileri sunabilir (Algeo vd. 2004).

	Oksik	Anoksik, sülfidik olmayan	Anoksik, zayıf sülfidik	Sülfidik
OM	kötü korunma	iyi korunma		çok iyi korunma, OM sülfirizasyonu
Mo	MoO_4^{2-}			thiomolybdate ($\text{MoO}_x\text{S}_{4-x}$, $x = 0-3$)
Cd, Zn	Cd^{2+} , Zn^{2+}		CdS , ZnS	
V	HVO_4^{2-} , $\text{H}_2\text{VO}_4^{4-}$	VO^{2-} , $\text{VO}(\text{OH})_3$, $\text{VO}(\text{OH})_2$	V_2O_3 , $\text{V}(\text{OH})_3$	
Fe, Mn	Fe -/ Mn- oksit	Fe^{2+} , Mn^{2+}	Fe^{2+} , FeS Mn^{2+}	FeS_2 , Mn^{2+}
P	HPO_4^{2-} Fe - oksit	HPO_4^{2-}		
Mavi = deniz suyunda çözülmüş; Kırmızı = sedimanda birikmiş				

Şekil 4.30 Oksik-anoksik, sülfidik olmayan-anoksik, zayıf sülfidik-sülfidik koşullar altında redoksa duyarlı/sülfidit oluşturan elementler olan Mo, Cd, Zn, V, Fe, Mn, P ve organik maddenin davranışları (März 2007).

Mo, Re, U ve V gibi iz elementler redoksa duyarlı olmalarından dolayı çeşitli araştırmalarda dikkat çekmiştir (Pratt vd. 1992, Crusius vd. 1996). Bu nedenle

paleoredoks koşullarını değerlendirmek için Ni/Co, V/Cr ve V/(V+Ni) iz element oranları (Hatch vd. 1992, Jones vd. 1994, Rimmer 2004) kullanılmıştır.

Sedimanlarda belirli iz elementlerin birikimi direkt veya indirekt olarak hem redoks durumundaki değişim ve/veya redoksün türü arasındaki redoks koşullar tarafından kontrol edilmektedir. Bazı elementler (Cd gibi) sulu çözeltilerde denge durumundadır. Fakat bu elementler, çözülmüş sülfid varlığında çökebilir. Anoksik/sülfidik sedimanlarda Mo gibi belirli metallerin özel redoks koşulları altında zenginleşmesi paleoortamsal belirteç olarak kullanılmalarını sağlar (Rosenthal vd. 1995, Dean vd. 1999, Adelson vd. 2001). Redoksa duyarlı iz metallerin paleoişaretçi olarak kullanımı, kimyasal davranışlarının anlaşılması için çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır (Pedersen vd. 1990, Calvert vd. 1993, Jones vd. 1994, Dean vd. 1999, Crusius vd. 1996, Morford vd. 1999, 2001 ve McKay vd. 2007). İz elementler genellikle anoksik/öksinik koşullar altında depolanan organik maddece zengin laminalı fasiyeslerde büyük zenginleşme gösterirler.

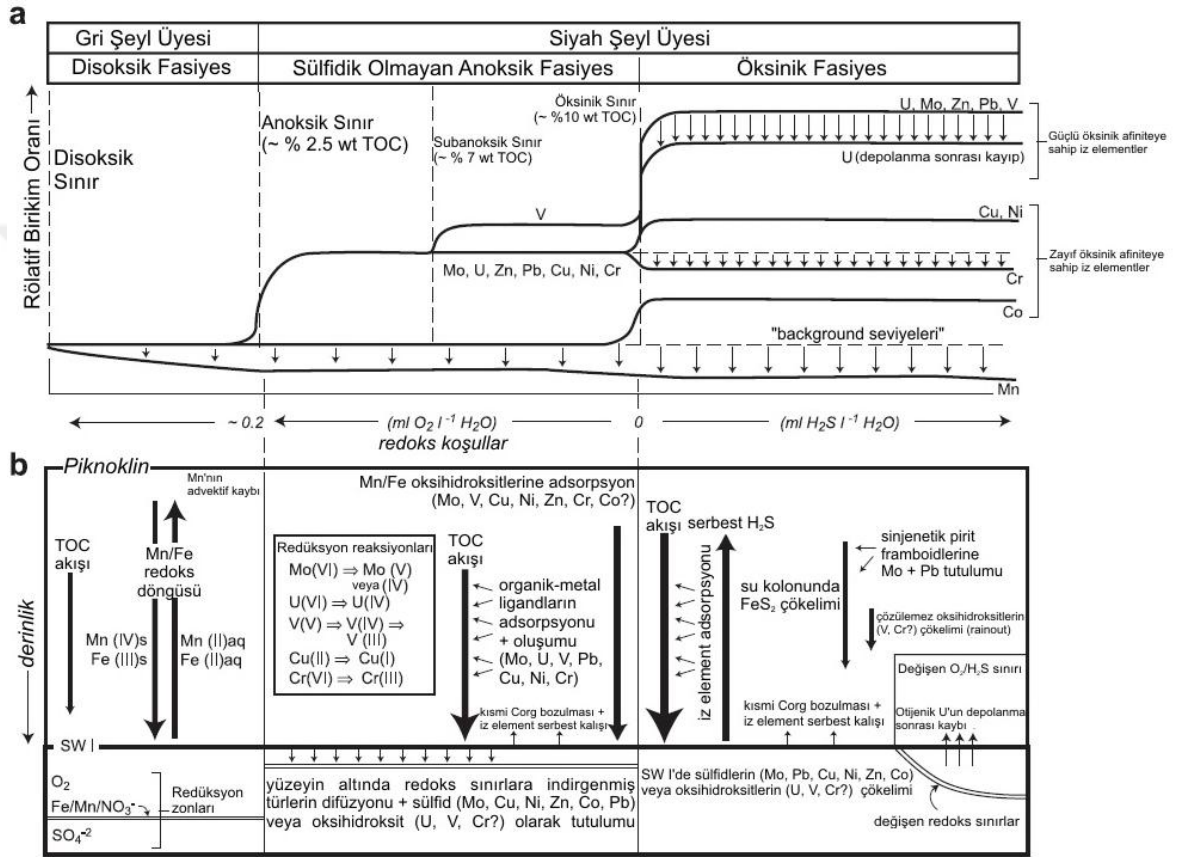
Su kolonundan sedimana belirli iz elementlerin girişi ve bunların izleyen otijenik birikimi şunlarla kontrol edilmektedir:

- insitu/yerindeki redoks koşullar;
- redoks koşullar boyunca bunların farklı jeokimyasal davranışları ile şekillenen gözenek suyu konsantrasyon değişimi (McKay vd. 2007).

Genelde oksik zon ince olduğunda sırasıyla suboksik ve anoksik redoks sınırları da sığdır ve konsantrasyon değişimleri daha fazladır. Bu koşullarda çoğunlukla, deniz tabanına organik madde akışı yüksektir ve/veya taban suyunda oksijen konsantrasyonu düşüktür (McKay vd. 2007).

C/S ve C-S-Fe diyagramları, Mo/Al, Ni/Co, V/Cr ve V/(V+Ni) element oranları sediman birikimi süresince redoks koşullarını tayin etmekte kullanılmıştır. Disaerobik biyofasiyesler, indirgen bentik O₂ seviyelerini ve bentik organizmaların yokluğu ile anaerobik biyofasiyeslerdeki birikimleri yansıtan iskelet veya iz fosil topluluğu ile karakterize edilmiştir (Wignall 1994). Sedimanter ortamlara ilişkin redoks

sınıflamaları: oksik, disoksik ve anoksik fasiyesleri içerir ve sonuncusu sülfidik olmayan ve sülfidik (öksinik) alt fasiyesler olarak ayrılabilir (Şekil 4.31). Öksinik şartlar genellikle organik karbon ve toplam kükürtün oldukça yüksek konsantrasyonlarda birikmesine neden olur (Leventhal 1983, Arthur vd. 1994, Wignall 1994).



Şekil 4.31 Redoksa duyarlı elementlerin disoksik, anoksik, öksinik fasiyeslerdeki davranışları (Algeo vd. 2004).

Denizel sistemlerde depolanma ortamı oksik, suboksik veya anoksik/öksinik olabilmektedir. Bununla birlikte bu değişken taban suyu redoks koşullarına bağlı olarak redoksa duyarlı element dağılımları değişikliklerine izin verir (Calvert vd. 1993). Mo, Mn, Ni, V, U, Cr, Co gibi çeşitli iz elementler paleoredoks koşullarını değerlendirmek açısından çeşitli araştırmalarda kullanılmıştır (Hatch vd. 1992, Jones vd. 1994, Algeo vd. 2004, Rimmer vd. 2004, Çizelge 4.3). Bu iz elementlerin kullanılmasının özel

amaçları bulunmaktadır. Bunlar, duraylı elementlerdir ve kaynak hakkında yorum yapılmasını sağlarlar (Şekil 4.32).

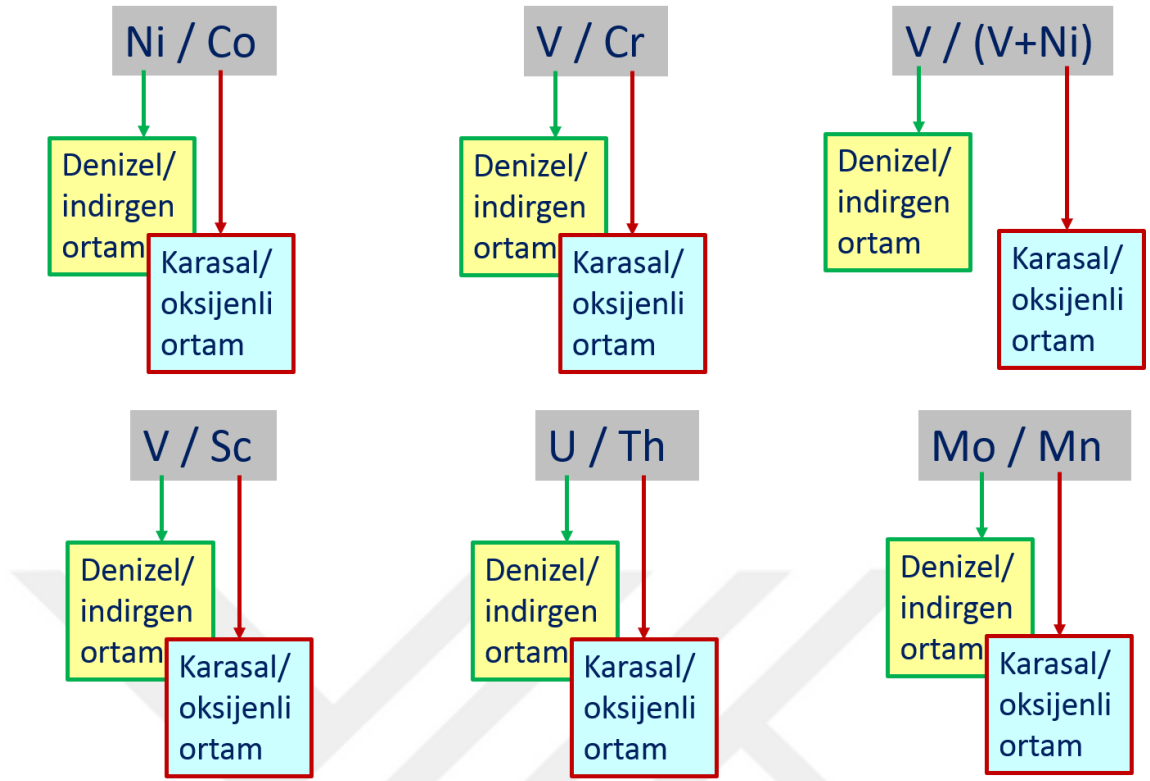
Çizelge 4.3 Paleoredoks ortam işaretçileri

	Oksik	Disoksik	Anoksik	Öksinik
Ni/Co¹	< 5	5 – 7	> 7	
V/Cr²	< 2	2 – 4.5	>4.5	
V/(V+Ni)³	< 0.46	0.46 – 0.60	0.54 – 0.82	> 0.84
U/Th⁴	< 0.75	0.75 – 1.25	> 1.25	
V/Sc⁵	< 9.1			
Th/U⁶	> 5	3 – 5	< 2	
Mo/Mn⁷	< 0.01	İndirgen ortamlar > 0.01		

^{1,2} Jones vd. (1994), ² Dill vd. (1986), ³ Hatch vd. (1992), ³ Wignall (1994), ⁴ Jones vd. (1994), ^{5,6} Kimura vd. (2001), ⁷ Kholodov vd. (1991)

Mo/Mn değerlendirmesi için;

- 0.1 – 4, indirgen ortamlar (Namibiya Şelfi)
- 0.013 – 0.17 suboksik ve dönemsel indirgen ortam, submarin kıtasal kıyılarda (Peru, Şilli ve Fas Şelfleri)
- 0.005 – 0.011 suboksik ortam submarin yükselimler (Japon Denizi)
- 0.0008 – 0.004 oksik ortam, Pasifik ve Atlantik denizaltı dağları ve Blake Platosu
- 0.0001 – 0.043 oksik ve muhtemel suboksik ortamlar, okyanusal adalar



Şekil 4.32 Paleoredoks koşullarını değerlendirmede kullanılan elementler ve temsil ettikleri ortamlar (Sarı vd. 2014).

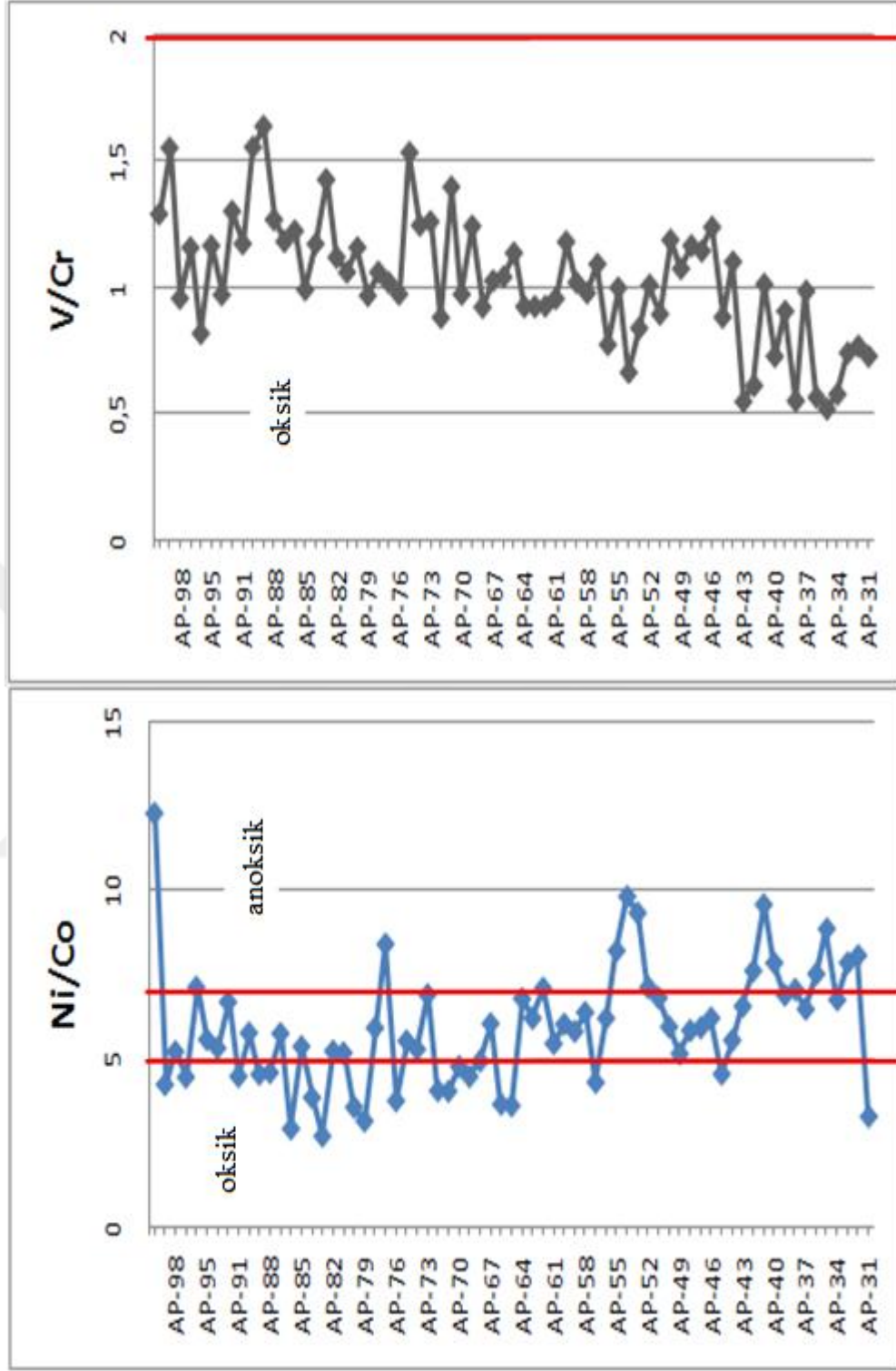
Ni ve V'un tercihen anoksik koşullar altında korunan tetrapirrol yapılarında bulunduğu düşünülür (Lewan vd. 1982). Lewan (1984), diyajenez ile altere olmamış ham petrolerde V/Ni oranının depolanma anında ortamsal koşulları belirttiğini ve öksinik koşullar altında oluşan organikler için $V/(V+Ni) > 0.5$ 'den büyük olduğunu göstermiştir. Özellikle anoksik koşullar altında tetrapirrol yapılarına dahil olan V aynı zamanda kil mineralleri üzerine adsorblanarak meydana gelebilir ve büyük olasılıkla bu durum gömülme sonrası meydana gelmektedir (Breit vd. 1991). Cr'un sadece detritik fraksiyon ile ilişkili olduğu düşünülür (Dill 1986) ve redoks koşulları ile etkilenmez; böylece yüksek V/Cr değerlerinin (> 4.25) anoksik koşulları gösterdiğini düşündürür (Jones vd. 1994). V/Cr oranı Jones vd. (1994) tarafından da paleoortam üzerine yorum yapabilmek için kullanılmıştır. V/Cr oranı aynı zamanda paleooksijenlenme koşullarının indeksi olarak sunulmuştur (Dill 1986;). Ni ve V indirgenmiş sedimanlarda organik madde tarafından tutulmaktadır (Lewan vd. 1982). Cr ve Co konsantrasyonlarının detritik içeriğinin fonksiyonu olduğu düşünülmektedir (Dill 1986). Hem Ni hem Co

piritte oluşur ve yüksek Ni/Co oranlarının anoksik koşullar ile ilişkili olduğu düşünülür (Jones vd. 1994).

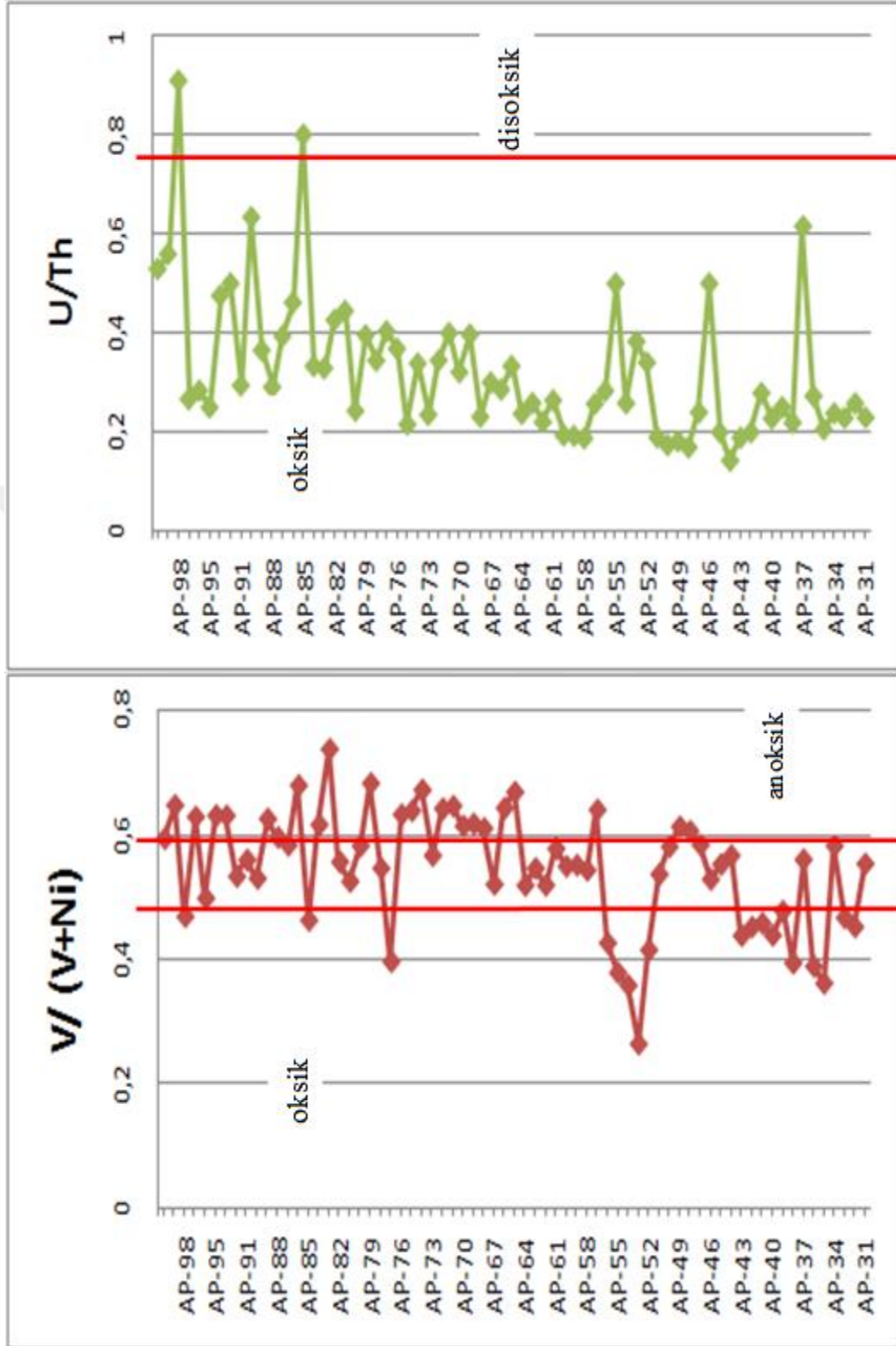
Tabandan tavana tüm kesitler için Çizelge 4.4'te belirtilen paleoredoks işaretçileri ile yapılan değerlendirmeler Şekil 4.33-4.40'da verilmiştir. Dodurga sahasına ait bütün redoks parametrelerinin örnek ortalamasına göre havza oksik-disoksik aralıklarında olan redoks ortamını göstermektedir (Çizelge 4.4-4.5).



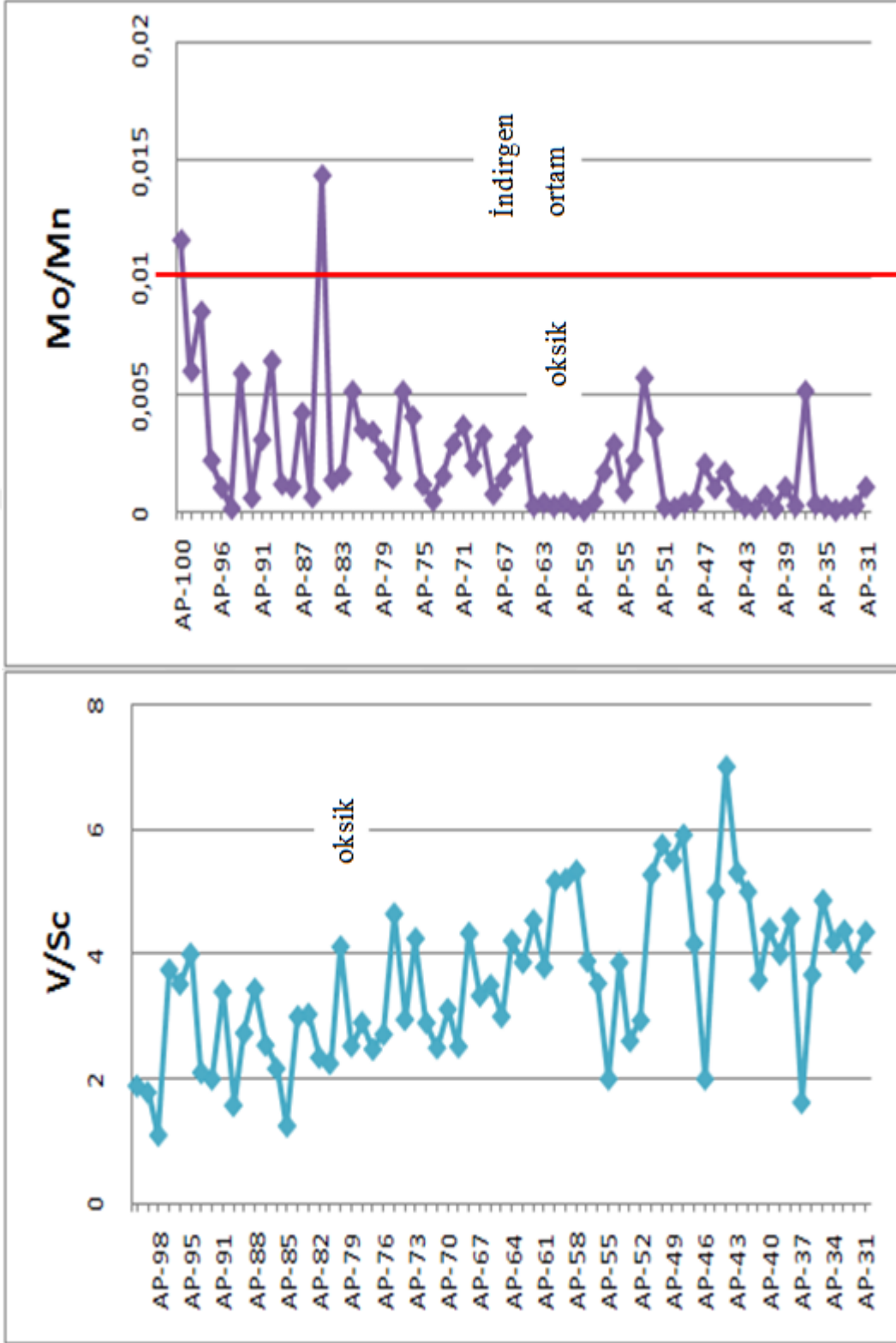
AP ÖSK



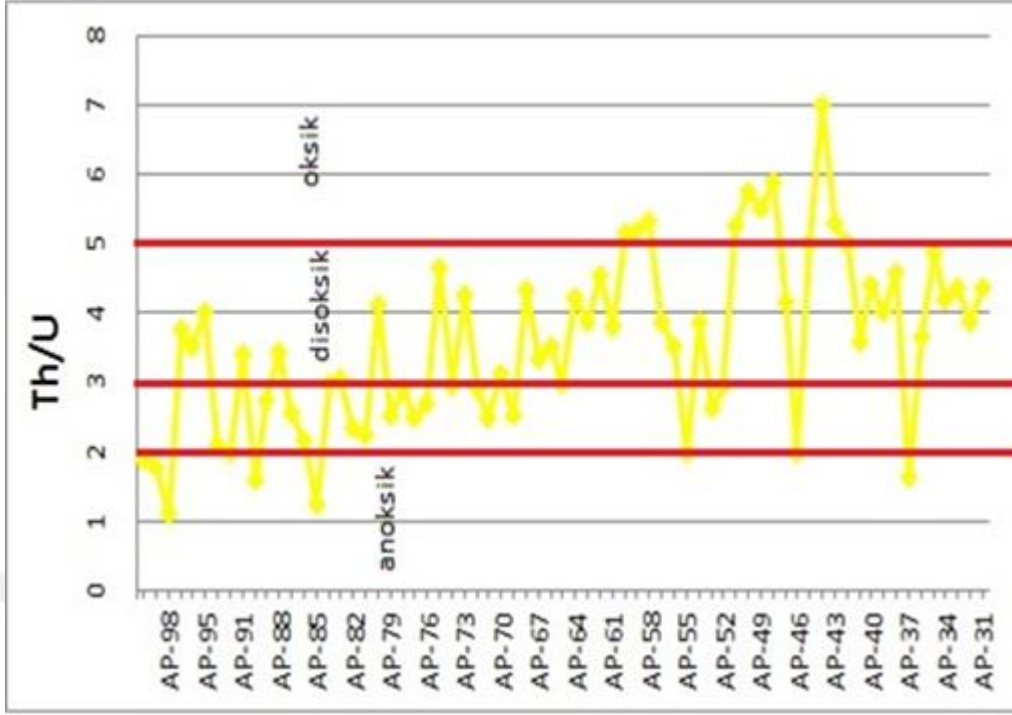
Şekil 4.33 AP ÖSK Ni/Co ve V/Cr



Şekil 4.34 AP ÖSK V/(V+Ni) ve U/Th grafiği

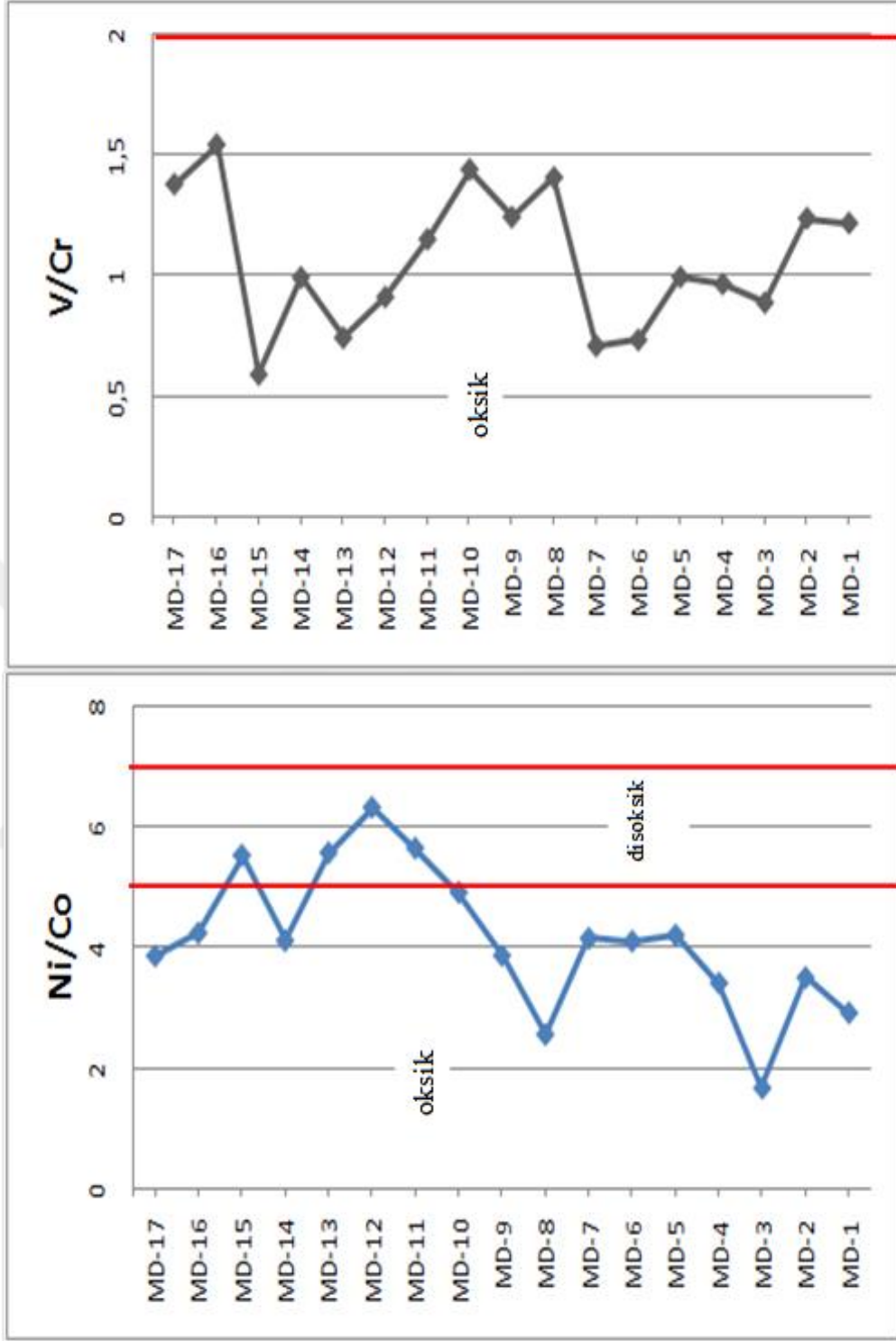


Şekil 4.35 AP ÖSK V/Sc ve Mo/Mn grafiği

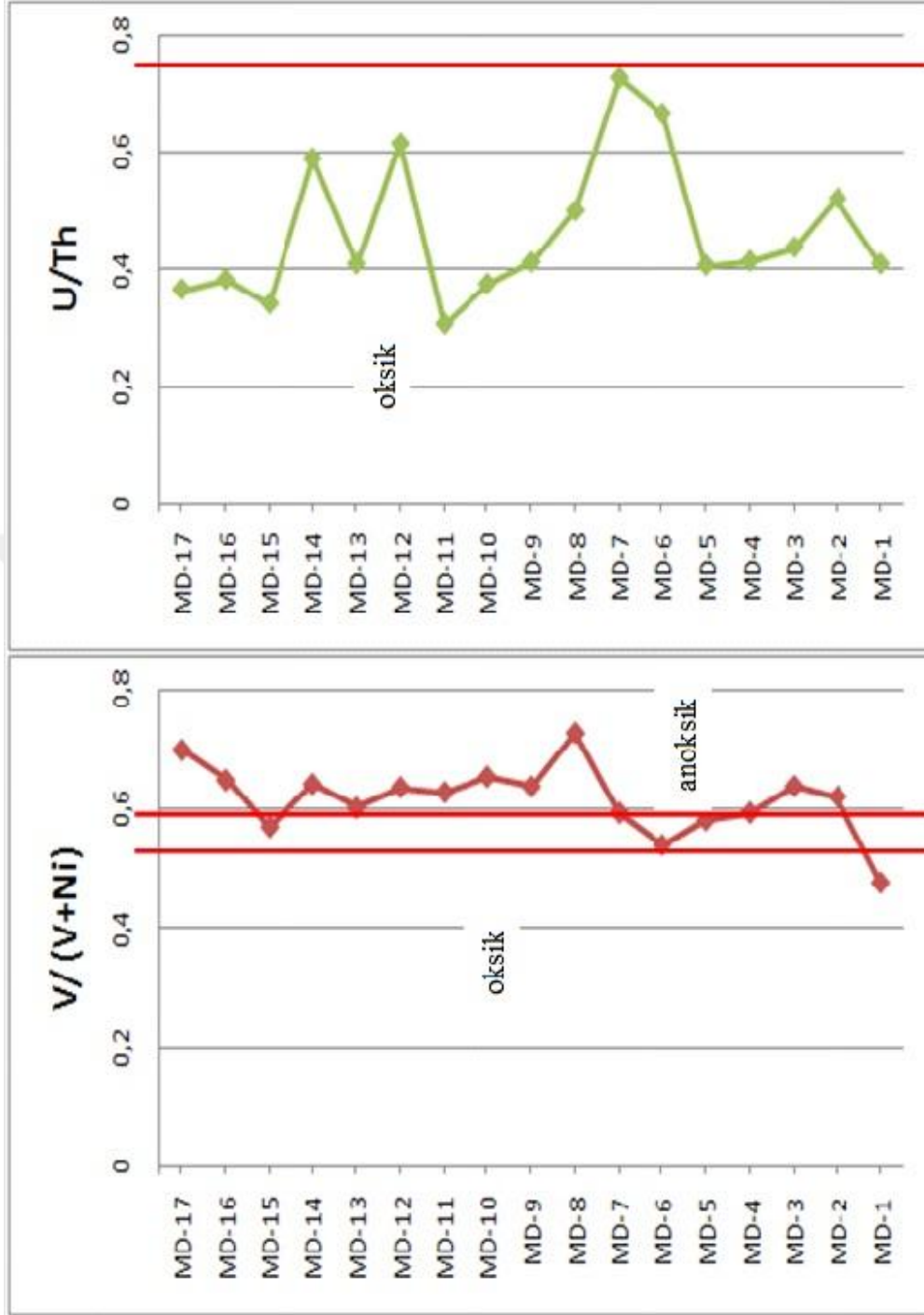


Şekil 4.36 AP ÖSK Th/U grafiği

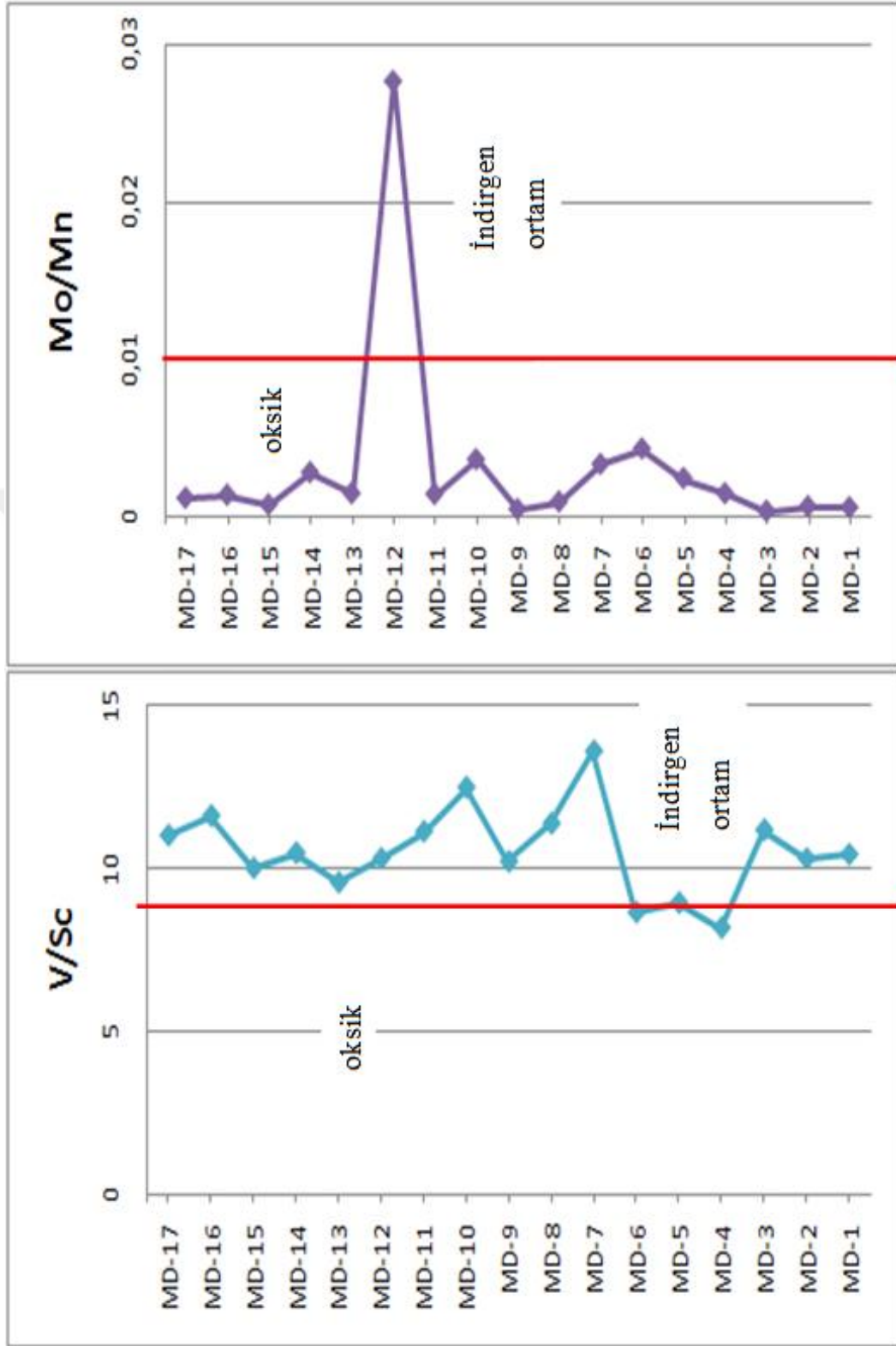
MD ÖSK



Şekil 4.37 MD ÖSK Ni/Co ve V/Cr grafiği



Şekil 4.38 MD ÖSK V/(V+Ni) ve U/Th grafiği



Şekil 4.39 MD ÖSK V/Sc ve Mo/Mn grafiği



Şekil 4.40 MD ÖSK Mo/Mn grafiği

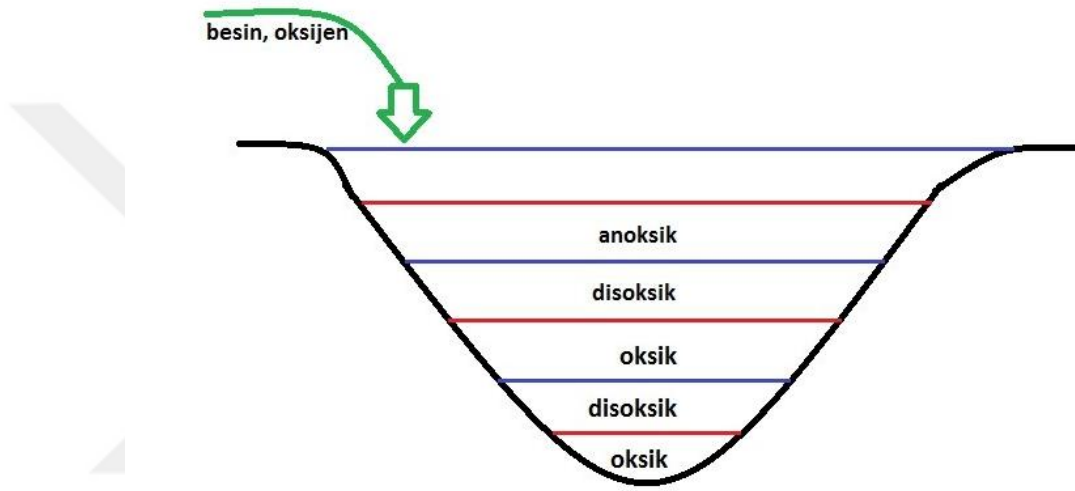
Çizelge 4.4 İncelenen örneklerin paleoredoks parametrelerinin ortalama değerleri

ÖSK adı	Ni/Co	V/Cr	V/(V+Ni)	U/Th	V/Sc	Mo/Mn	Th/U
AP	5,93836	1,03378	0,54452	0,3259	9,7499	0,00224	3,14611
MD	4,16782	1,06828	0,61694	0,46339	10,5449	0,00321	2,13895

Çizelge 4.5 İncelenen ÖSK'ların redoks ortam belirteçlerine göre değerlendirmeleri

	AP ÖSK	MD ÖSK
Ni/Co	Oksik-Disoksik-Anoksik	Oksik-Disoksik
V/Cr	Oksik	Oksik
V/(V+Ni)	Oksik-Disoksik-Anoksik	Oksik-Disoksik-Anoksik
U/Th	Oksik-Disoksik	Oksik
V/Sc	Oksik	Oksik-İndirgen Ortam
Mo/Mn	Oksik-İndirgen Ortam	Oksik-İndirgen Ortam
Th/U	Oksik-Disoksik-Anoksik	Disoksik-Anoksik

Sonuçlardaki ortam değişiklikleri, o dönemin ortamı hakkında bilgi verir. Dönemsel değişiklikler içinde oksijen miktarı da değişmektedir. Tabandan tavana doğru salınım görölmesinin nedeni besin ve oksijen bolken (oksik şartlar hakimken), bunların canlılar tarafından tüketilmesiyle disoksik şartlar egemen hale gelmektedir. Aynı şekilde daha fazla tüketilme durumunda anoksik şartlara geçiş söz konusudur. Ortama besin ve oksijen girişinin yeniden sağlanması halinde ise oksik şartlar yeniden hakim olmaktadır (Şekil 4.41).



Şekil 4.41 Sonuçlardaki ortam değişikliklerini açıklayan şematik kesit (Sarı vd. 2014)

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında arazi, laboratuvar ve ofis çalışmaları yapılmıştır. Yapılan arazi çalışmasında oluşturulan 3 adet ÖSK'dan 2 adedi bu tez kapsamında çalışılmıştır (AP ÖSK ve MD ÖSK).

İncelenen bitümlü kayaçların oksik-disoksik redoks koşullarında depolanmış olmalarına rağmen çok yüksek organik madde içeriğine (TOC değerleri ortalama AP ÖSK için 5,59 ve MD ÖSK için 3,97) sahip olması olağandışı gibi görünse de bu durum aşağıdaki şartlarda mümkündür;

- Çökelme ortamında üst su kolonundaki biyolojik üretkenliğin çok fazla olması (Pedersen vd. 1990, Caplan vd. 1998).
- Mevsimsel döngülere bağlı olarak zaman zaman havzaya nehirler vasıtasıyla gelen çözülmüş oksijen, fosfat ve nitratlar gibi planktonik besin maddelerinin sınırlanması nedeniyle su kolonunda meydana gelen kısa süreli oksijensizliğe ve besin yetersizliğine bağlı olarak canlılarda (planktonlar) ani ölümlerin meydana gelmesi (Ross 2004).
- Büyük miktarlardaki ani ölümler neticesinde tabanda biriken organik madde miktarının çok fazla olması.
- Çökelme ortamındaki sedimentasyon hızının (kil ve karbonat çökeli) fazla olmasından dolayı organik maddenin üzerinin hızlı bir şekilde örtülerek oksijenle temasının kesilmesi sonucunda korunması (Sageman vd. 2003, Katz 2005).

Çorum Dodurga bitümlü şeylllerine ait XRD mineral incelemelerine göre pirit ve siderit mineraline bol miktarda rastlanması ortamın disoksik-anoksik koşullarda olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca kil minerali bakımından simektit ve illit bulundurması da disoksik şartların hakim olduğunu göstermektedir.

Ni/Co, V/V+Ni, U/Th, V/Sc, Th/U ve Mo/Mn gibi paleoredoks işaretçileri (Hatch vd. 1992, Wignall 1994, Jones vd. 1994, Kimura vd. 2001 ve Kholodov vd. 1991) ile yapılan değerlendirmelerde, örnek ortalamalarına göre, incelenen örneklerin oksik-disoksik redoks koşulu aralıklarında depolandıkları belirlenmiştir.

Sonuçlardaki farklı ortam değişiklikleri, farklı zamanlarda havzaya farklı şartların hakim olduğunu göstermektedir. Bu da, ötrofikasyonla açıklanabilir. Bu sebeple oksik koşulların hakim olduğu dönemlerde de organik madde korunumu söz konusudur. Dönemsel değişiklikler içinde havzanın zaman zaman oksik, zaman zaman disoksik-anoksik koşullar altında olduğu görülmektedir.

Genel anlamda Miyosen yaşlı Hançili Formasyonu, oksik-disoksik koşullar altında depolanmıştır.

KAYNAKLAR

- Adelson, J.M., Helz, G.R. and Miller, C.V. 2001. Reconstructing the rise of recent coastal anoxia; molybdenum in Chesapeake Bay sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 65, 237–252.
- Akyürek, B., Bilginer, E., Çatal, E., Dağer, Z., Soysal, Y. ve Sunu, O. 1980. Eldivan-Şabanözü (Çankırı) ve Hasayaz-Çandır (Kalecik-Ankara) dolayının jeolojisi. MTA Raporu, No: 6741.
- Algeo, T.J. and Maynard, J.B. 2004. Trace element behavior and redox facies in core shale of Upper Pennsylvanian Kansas-type cyclothem. *Chemical Geology* 206, 289–318.
- Antoine, P.O., Karadenizli, L., Saraç, G. and Şen, Ş. 2008. A giant rhinocerotoid (Mammalia, Perissodactyla) from the Late Oligocene of north-central Anatolia (Turkey). *Zoological Journal of the Linnean Society* 152, 581–592.
- Arthur, M.A. and Sageman, B.B. 1994. Marine bituminous shales: a review of depositional mechanisms and significance of ancient deposits. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 22, 499–551.
- Anonymous. 1972. Inorganic index to the powder diffraction file. Joint Committee on Powder Diffraction Standards (ASTM), 1432 p. Pennsylvania.
- Barker, C. 1979. Organic geochemistry in petroleum exploration. AAPG Continuing Education Course Notes Series 10, 159 p.
- Berner, R.A. and Raiswell, R. 1983. Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory. *Geochim. Cosmochim. Acta* 47, 855–862.
- Berner, R.A. 1984. Sedimentary pyrite formation: An update. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 605-615.
- Birgili, Ş., Yoldaş, R. ve Ünal, G. 1975. Çankırı-Çorum havzasının jeolojisi ve petrol olanakları. MTA Rapor No: 5621.
- Breit, G.N. and Wanty, R.B. 1991. Vanadium accumulation in carbonaceous rocks: a review of geochemical controls during deposition and diagenesis. *Chemical Geology*, 91, 83-97.

- Calvert, S.E. and Pedersen, T.F. 1993. Geochemistry of Recent oxic and anoxic marine sediments: implications for the geological record. *Marine Geology*, 113, 67– 88.
- Caplan, M.L. and Bustin, R.M. 1998. Paleooceanographic controls on geochemical characteristics of organic-rich Exshaw mudrocks: role of enhanced primary productivity. *Organic Geochemistry*, 30, 161–188.
- Crusius, J., Calvert, S., Pedersen, T. and Sage, D. 1996. Rhenium and molybdenum enrichments in sediments as indicators of oxic, suboxic and sulfidic conditions of deposition. *Earth and Planetary Science Letters* 145, 65–78.
- Dean, W.E. and Arthur, M.A. 1989. Iron–sulfur–carbon relationships in organic-carbon-rich sequences: I. Cretaceous Western Interior Seaway. *American Journal of Science*, 289, 708– 743.
- Dean, W.E., Piper, D.Z. and Peterson, L.C. 1999. Molybdenum accumulation in Cariaco basin sediments over the past 24 k.y.: a record of water-column anoxia and climate. *Geology* 27, 210–507.
- Dill, H. 1986. Metallogenesis of early Paleozoic graptolite shales from the Graefenthal Horst (Northern Bavaria—Federal Republic of Germany). *Economic Geology* 81, 889–903.
- Durand, B. 1980. Kerogen: Insoluble organic matter from sedimentary rocks. Editions Techniq, 519 p, Paris.
- Dyni, J. R. 2003. Geology and resources of some world oil-shale deposits. *Oil Shale*, 20, 3, 193-252.
- Gavin, J. M. 1924. Oil Shale. U. S. Government Printing Office, 261 p. Washington, D. C.
- Hatch, J.R. and Leventhal, J.S., 1992. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U.S.A. *Chem. Geol.* 99, 65–82.
- Horton, B.K. and Schmitt, J.M. 1996. Sedimentology of a lacustrine fan-delta system, Miocene Horse Camp Formation, Nevada, USA. *Sedimentology* 43, 133–155.

- Hutton, A. C. 1991. Classification, organic petrography and geochemistry of oil shale. Eastern Oil Shale Symp., Univ. Kentucky, Institute for Mining and Minerals Research, Lexington, p., 163-172.
- Jarvie, D.M. 1991, Factors affecting Rock-Eval derived kinetic parameters: Chemical Geology, 93, 79-99.
- Johannes, J., Kruusement, K., Palu, V., Veski, R. and Bojesen, J.A. 2006. Evaluation of oil potential of Estonian shales and biomass samples using rock-eval analyzer. Oil Shale, Vol. 23, No. 2, pp. 110-118.
- Jones, B. and Manning, D.A.C. 1994. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. Chemical Geology 111, 111–129.
- Karadenizli, L., Saraç, G., Sen, S., Seyitoğlu, G., Antoine, P.O., Kazancı, N., Varol, B., Alçiçek, M.C., Gül, A., Erten, H., Esat, K., Ozcan, F., Savasci, D., Antoine, A., Filoreau, X., Hervet, S., Bouvrain, G., de Bonis, L. and Hakyemez, H.Y. 2004. Oligo-Miocene Mammalian Biostratigraphy and Depositional Evolution of the Western and Southern parts of Çankırı-Çorum Basin, Central Anatolia. TUBITAK Proje No: 101Y108: MTA Raporu, No:10706.
- Karadenizli, L. 2011. Oligocene to Pliocene palaeogeographic evolution of the Çankırı-Çorum Basin, central Anatolia, Turkey. Sedimentary Geology 237, 1-29.
- Katz, B.J. 2005. Controlling factors on source rock development-a review of productivity, preservation, and sedimentation rate. In: The deposition of organic-carbon-rich sediments: models, mechanisms, and consequences, Harris, N.B. (Eds.). SEPM 282, pp. 7-16.
- Kaymakçı, N. 2000. Tectono-stratigraphical evolution of the Çankırı Basin (Central Anatolia Turkey). Geologia Ultraiectina 190, 1–247.
- Kholodov, V.N. and Nedumov, R.I. 1991. Geochemical criteria of the hydrogen sulfide contamination in waters of ancient basins. International Geology Review, 33, 1136-1144.
- Kimura, H. and Watanabe, Y. 2001. Oceanic anoxia at the Precambrian-Cambrian boundary. Geology, 21, 995-998.

- Leventhal, J.S. 1983. An interpretation of carbon and sulfur relationships in Black Sea sediments as indicators of environments of deposition. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47, 133–138.
- Leventhal, J.S. 1987. Carbon and sulfur relationships in Devonian shale from the Appalachian Basin as an indicator of environment of deposition. *AJS* 287, 33–49.
- Lewan, M.D. and Maynard, J.B. 1982. Factors controlling the enrichment of vanadium and nickel in the bitumen of organic sedimentary rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta* 46, 2547–2560.
- Lewan, M.D. 1984. Factors controlling the proportionality of vanadium and nickel in crude oils. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 2231–2238.
- Lyons, T.W., Werne, J.P., Hollander, D.J. and Murray, R.W. 2003. Contrasting sulfur geochemistry and Fe/Al and Mo/Al ratios across the last oxic-to-anoxic transition in the Cariaco Basin, Venezuela. *Chemical Geology*, 195, 131–157.
- März, C. 2007. Inorganic geochemical redox proxies - Indicators for rapid paleoenvironmental changes and related diagenetic processes in recent and ancient marine sediments. Faculty of Geosciences at Bremen University, Germany, Dissertation In review for the Doctoral Degree in Natural Sciences (Dr. rer. nat.), 127.
- McKay, J.L., Pedersen, T.F. and Mucci, A. 2007. Sedimentary redox conditions in continental margin sediments (N.E. Pacific)-influence on the accumulation of redox-sensitive trace metals. *Chemical Geology* 238, 180-196.
- Morford, J.L. and Emerson, S. 1999. The geochemistry of redox sensitive trace metals in sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63, 1735–1750.
- Morford, J.L., Russell, A.D. and Emerson, S. 2001. Trace metal evidence for changes in the redox environment associated with the transition from terrigenous clay to diatomaceous sediment, Saanich Inlet, B.C. *Marine Geology* 174, 355–369.
- Özçelik, Y. and Savun, C. 1993. Geology of the region between İskilip-Osmancık-Çorum-Sungurlu and petroleum prospect. TPAO Arama Gurubu Dokümantasyon Merkezi, Report No: 3290, 8–60.

- Pedersen, T.F. and Calvert, S.E. 1990. Anoxia vs. productivity: what controls the formation of organic-carbon-rich sediments and sedimentary rocks? *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 74, 454–466.
- Peters, K. E. and Cassa, M. R. 1994. Applied source rock geochemistry. In: Magoon, L. B., Dow W. G. (Eds), *The Petroleum System – From Source to Trap*. American Association of Petroleum Geologists Memoirs 60, 93–120.
- Platt, N.H. and Wright, V.P. 1991. Lacustrine carbonates: facies models, facies distributions and hydrocarbon aspects. In: Anadon, P., Cabrera, L., Klts, K. (Eds.), *Facies Analysis: Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.*, 13, 57–74.
- Potter, P. E., J. B. Maynard, and P. J. Depetris, 2005. *Mud and Mudstones*, Springer-Verlag, Berlin. 297 p.
- Pratt, L.M. and Davis, C.L. 1992. Intertwined fates of metals, sulfur, and organic carbon in black shales. In: Pratt, L.M., Comer, J.B., Brassell, S.C. (Eds.), *Geochemistry of Organic Matter in Sediments and Sedimentary Rocks*. SEPM Short Course Notes, vol. 27, pp. 1– 27.
- Rimmer, S.M. 2004. Geochemical paleoredox indicators in Devonian–Mississippian bituminous shale, Central Appalachian Basin (USA). *Chemical Geology* 206, 373–391.
- Rosenthal, Y., Boyle, E.A., Labeyrie, L. and Oppo, D. 1995. Glacial enrichments of authigenic Cd and U in subantarctic sediments: a climatic control on the elements oceanic budget? *Paleoceanography* 10, 395–413.
- Ross, D.J.K. 2004. Sedimentology, geochemistry and gas shale potential of the early Jurassic Nordegg member, northeastern British Columbia. MSc Thesis, University of British Columbia.
- Sarı, A., Akkaya, P., Yalçın, E., Karaca, G. ve Tantoğlu, G. 2014. Dodurga (Çorum) Cıvarı Bitümlü Şeyllerinin Depolanma Ortamı Redoks Koşulları. 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 232-233.
- Sageman, B.B., Murphy, A.E., Werne, J.P., Ver Straeten, C.A., Hollander, D.J. and Lyons, T.W. 2003. A tale of shales: the relative roles of production, decomposition, and dilution in the accumulation of organic-rich strata, Middle–Upper Devonian, Appalachian basin. *Chemical Geology*, 195, 229– 273.

- Tissot, B.P. and Welte, D.H. 1984. Petroleum formation and occurrence. Springer-Verlag, Berlin, 699 p.
- Ünay, E., de Bruijn, H. and Saraç, G. 2003. The Oligocene rodent record of Anatolia: a review. In: Reumer, J.W.F., Wessels, W. (Eds.), Distribution and Migration of Tertiary Mammals in Eurasia: A volume in honour of Hans de Bruijn- Deinsea, 10, 531–537.
- Wedepohl, K.H. 1971. Environmental influences on the chemical composition of shale and clays. Phys. Chem. Earth 8, 307– 331.
- Wignall, P.B. 1994. Black Shales. Clarendon Press, Oxford. 127 pp.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Pelin AKKAYA
Doğum Yeri: Ankara
Doğum Tarihi: 25.07.1990
Medeni Hali: Bekâr
Yabancı Dil: İngilizce, Almanca

Eğitim Durumu:

Lise: Ankara Anadolu Lisesi (Almanca) (Eylül 2004-Haziran 2008)
Lisans: Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü (Eylül 2008-Haziran 2013)
Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı (Şubat 2013-Mart 2016)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar:

Jeoterm Enerji (26.11.2014 – 14.10.2014)
Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. (06.04.2015 – halen)

Yayımları:

Akkaya, P. ve Karakaş, Z. 2014. Yurtbeyi – Yaylabağ (Gölbaşı Doğusu, Ankara) Volkanik Kayaçların Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri. 67.Türkiye Jeoloji Kurultayı, 500-501.
Sarı, A., Akkaya, P., Yalçın, E., Karaca, G. ve Tantoğlu, G. 2014. Dodurga (Çorum) Civarı Bitümlü Şeyllerinin Depolanma Ortamı Redoks Koşulları. 67.Türkiye Jeoloji Kurultayı, 232-233.
Sarı, A., Akkaya, P. ve Attar A.F. 2015. Dodurga (Çorum) Sahası Kömürlerinde Organik Jeokimyasal İncelemeler. 68.Türkiye Jeoloji Kurultayı, 132-133.

- Sarı, A., Attar, A.F. ve Akkaya, P. 2015. Dodurga (Çorum) Sahası Kömürlerinde Nadir Toprak Element (NTE) Zenginleşmelerinin İncelenmesi. 68.Türkiye Jeoloji Kurultayı, 356-357.
- Sarı, A., Akkaya, P. ve Vosoughi, A. 2015. Dodurga (Çorum) Sahası Bitümlü Kayaçlarında Mineralojik İncelemeler. IPETGAS (International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey), 35.
- Sarı, A., Akkaya, P. ve Vosoughi, A. 2015. Dodurga (Çorum) Sahası Bitümlü Kayaçlarının Karbon İzotop Değerlendirmeleriyle Ortamsal Yorumu. IPETGAS (International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey), 339-340.
- Sarı, A., Akkaya, P. ve Vosoughi, A. 2015. Dodurga (Çorum) Miyosen Hançili Formasyonu Bitümlü Kayaçlarındaki Ağır Metal Zenginleşmeleri. IPETGAS (International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey), 341-342.
- Sarı, A., Vosoughi, A. and Akkaya, P. 2015. Dodurga (Çorum) Evaluation of source rock potential, matrix effect and applicability of gas oil ratio potential factor in Paleocene-Eocene bituminous shales of Çamalan Formation, Nallıhan-Turkey. Marine and Petroleum Geology 67, 180-186.