

Bu makale aşağıda atf bilgisi verilen makalenin Türkçe çevirisidir.

Atf bilgisi: Karayığit, A. İ. , Oskay, R. G. 2024. Vitrinite reflectances and mineralogy of coal clasts in the Late Carboniferous sequences in the two-deep research wells from the Kozlu coalfield (Zonguldak Basin, NW Türkiye). Bulletin of the Mineral Research and Exploration 173, 55-83. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.1209127>



## Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>

MADEN TETKİK VE ARAMA  
DERGİSİ



KEMERLİK

### Kozlu kömür sahasında (Zonguldak Havzası, KB Türkiye) açılan iki derin araştırma kuyusunda Geç Karbonifer yaşlı istiflerin içerisindeki kömür klastların vitrinit yansıtımları ve mineralojisi

### *Vitrinite reflectances and mineralogy of coal clasts in the Late Carboniferous sequences in the two-deep research wells from the Kozlu coalfield (Zonguldak Basin, NW Türkiye)*

Ali İhsan KARAYİĞİT<sup>a\*</sup> ve Rıza Görkem OSKAY<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

<sup>b</sup> Hacettepe Üniversitesi, Başkent OSB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Ankara, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:  
Zonguldak Havzası,  
Geç Karbonifer,  
Kömür Petrografisi,  
Kömür Klastı, Kömür  
Damarlarının Erozyonu.

#### ÖZ

Zonguldak Havzası Kozlu kömür sahasında açılan iki derin araştırma kuyusunun (K20H ve K20K) karotlarından 54 adet kömür klast numunesi silisiklastik kayaçlar (kumtaşı ve konglomera gibi) içerisinde toplanmış ve ilk kez kökenlerini ve oluşum zamanlarını incelemek için XRD ve SEM-EDX ile mineralojisi ve rastgele vitrinit yansıtma (%R<sub>r</sub>) ölçümleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Kömür parlak kesitleri üzerinde yapılan petrografik gözlemler, kömür klastlarının ya tamamen ksilitik/vitrinitik parçacıklardan ya da farklı maseralleri içeren kömürlerden oluştuğunu göstermektedir. Numunelerde tespit edilen mineraller, çoğunlukla ana kömür damarlarından türemiştir ve daha az oranda klastların kırık/çatlaklarına nüfuz eden gözenek suyundan itibaren oluşmuştur. Geç Karbonifer yaşlı sedimanlardaki kömür klastlarının %R<sub>r</sub> değerleri, taşınma sırasındaki zayıf oksitlenme nedeniyle genellikle kömür damarlarında ölçülenlerden nispeten daha yüksektir. Ayrıca, kömür klastları ve kömür damarları arasındaki benzer mineralojik ve maseral bileşimleri, bu klastların esasen ana kömür damarlarının turbalaşması ve/veya erken diyajenezi sırasında aşınması sonucu oluştuğunu ve bu nedenle benzer kömürleşme derecelerine sahip olduğunu göstermektedir. Erken Apsiyen yaşlı Zonguldak Formasyonu içerisindeki bir kömür klast örneğinin Geç Karbonifer yaşlı kömür damarlarına yakın %R<sub>r</sub> değerine sahip olması, bu kömür klast örneğinin muhtemelen Erken Apsiyen'de aşınmış kömür damarlarından türediğini düşündürmektedir.

Geliş Tarihi: 16.07.2022  
Kabul Tarihi: 23.11.2022

Keywords:  
Zonguldak Basin, Late  
Carboniferous, Coal  
Petrography, Coal Clast,  
Erosion of Coal Seams.

#### ABSTRACT

Fifty-four coal clast samples in the siliciclastic rocks (e.g., sandstone and conglomerate) were collected from cores of two-deep research wells (K20H and K20K) drilled at the Kozlu coalfield in Zonguldak Basin, and for the first time, they were evaluated using mineralogy by XRD and SEM-EDX and random vitrinite reflectance (%R<sub>r</sub>) measurements in order to find out their origin and timing. Petrographic observations on polish surfaces show that the coal clasts are either entirely xylitic/vitrinitic particles or coals including a broader range of macerals. The detected minerals in the samples are mostly derived from the parental coal seams and, to a lesser extent, precipitated from penetrated pore-water in the cleats/fractures of clasts. The %R<sub>r</sub> values of coal clasts in Carboniferous sediments are generally relatively higher than those measured in the coal seams due to weak oxidation during transportation. Furthermore, similar mineralogical and maceral compositions between coal clasts and coal seams imply that these clasts were mainly eroded during

\*Başvurulacak yazar: Ali İhsan KARAYİĞİT, [aik@hacettepe.edu.tr](mailto:aik@hacettepe.edu.tr)

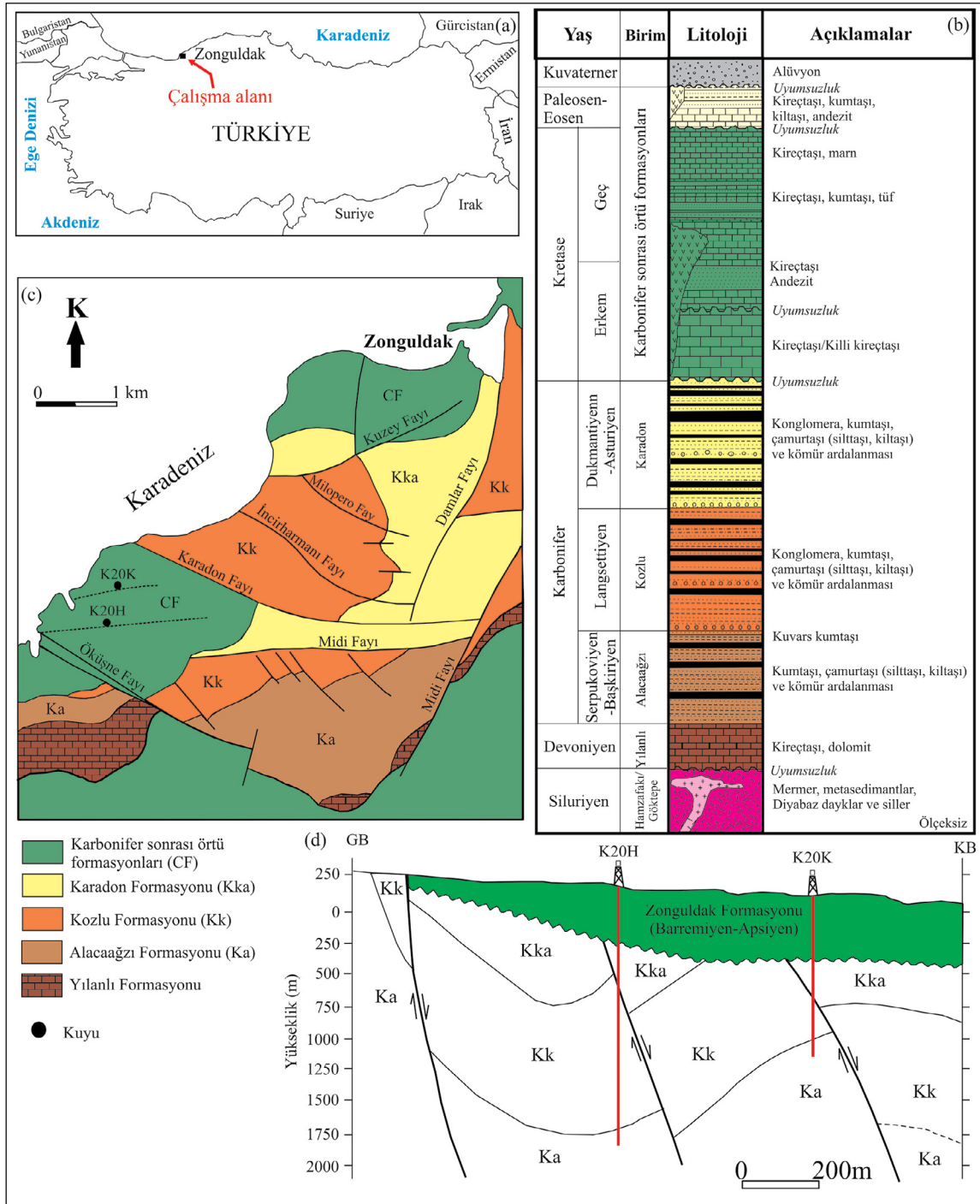
*the peatification and/or early coalification of parental seams and display similar coalification patterns. The close %Rr value of a coal clast sample in the Early Aptian Zonguldak Formation and Carboniferous coal seams could suggest that this coal clast sample is presumably derived from the coal seams eroded during Early Aptian.*

## 1. Giriş

Turba yatakları ve kömür içeren istifler çeşitli sebeplerden dolayı aşınabilmektedir (örn. turba oluşumu sırasındaki taşkın olayları ve kütle hareketleri veya kömürleşmeden sonra akarsu ve deniz etkisi) (Petersen vd., 1998; Geršlová vd., 2016; Izart vd., 2016; Martínek vd., 2017; Bicca vd., 2020). Sonuç olarak, kömür damarlarının eşzamanlı silisiklastik kayaçları ve denizel karbonatları içinde ve modern denizel sedimanlarda kömür klastları ve/veya kömür plaserleri gözlemlenebilmektedir (Littke vd., 1989; Hower vd., 2001; Pešek ve Sýkorová, 2006; Dill vd., 2017, 2021; Zhang vd., 2019; Yang vd., 2020). Kömür klastları yaygın olarak Karbonifer yaşlı kömür damarlarının birlikte bulunduğu silisiklastik kayaçlar (kumtaşı ve konglomera gibi) içeren istiflerde bulunur ve boyutları bir milimetreden onlarca santimetreye kadar değişebilmektedir. Klastik sedimanter kayaçlar (örn. kumtaşı, konglomera) içinde çakıl büyüklüğünde kömür parçacıkları ve/veya bazı durumlarda kömürleşmiş odunsu malzeme (ksilit) parçaları, 20. yüzyılın başlarından beri Avrupa'daki birkaç Geç Paleozoyik yaşlı kömür havzasında rapor edilmiştir (Pešek ve Sýkorová, 2006). Ancak, esas olarak Orta Avrupa ve Güney Galler'deki Geç Karbonifer kömür havzalarında kömür klastları hakkında sınırlı sayıda ayrıntılı çalışma yapılmıştır (Littke vd., 1989; Paszkowski vd., 1995; Gayer vd., 1996; Kožušníkova vd., 1999; Daněk vd., 2002; Misz-Kennan vd., 2019; Suchý vd., 2019; Yang vd., 2020). Bu çalışmalar, maseral ve mineralojik bileşimin, rastgele vitrinit yansıma (%Rr) değerlerinin, palinolojik özelliklerin, boyut ve şekillerin, Geç Karbonifer damarlarının erozyon zamanlaması, köken ve olası taşınma mesafesi (örn. kısa mesafe) ve bazı durumlarda Geç Paleozoyik kömür damarları içeren istiflerin olgunlaşması ve kömür kökenli metan gazı potansiyeli hakkında veri sağlayabileceğini göstermiştir. Örneğin, havza içindeki en yakın Geç Paleozoyik kömür damarlarına göre kömür klastlarının nispeten daha düşük %Rr

değerleri, kömür klastlarının kömürleşmeden önce bu kömür damarlarının erozyonu sonucu bunlardan türediği anlamına gelebilmektedir. Buna ek olarak, palinoflora bileşimleri, kökenleri ve daha da önemlisi, kömür klastı taşıyan tortulların aşınmanın ardından birikip birikmediği hakkında bilgi sağlayabilmektedir.

Zonguldak Havzası, Türkiye'nin kuzeybatısında yer almaktadır (Şekil 1a) ve Geç Paleozoyik istifleri (Şekil 1b ve 1c) Türkiye'deki önemli ekonomik bitümlü kömür (taşkömürü) kaynaklarını barındırmaktadır (Karayığit vd., 1998; 2018a). Önceki çalışmalar, Zonguldak Havzası'ndaki Karbonifer yaşlı kömür damarlarının Doğu ve Orta Avrupa'daki geç Paleozoyik kömür havzalarına benzer palinoflora ve kömür petrografisi özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir (Akgün ve Akyol, 1992; Karayığit, 1992; Karayığit vd., 1998, 2018a, b; Cleal ve Van Waveren, 2012; Cleal vd., 2017, 2018; Opluštil vd., 2018). Bununla birlikte, Karbonifer yaşlı kömür damarlarından elde edilen sedimantolojik veriler, kömür damarlarının tavantaşlarının esas olarak erozyonel tabanlı konglomeralar ve kumtaşlarından oluştuğunu ve Erken Karbonifer (Serpukoviyen-Başkiriyen) istifinin ise Geç Karbonifer (Dukmantiyen-Asturiyen) sırasında olası erozyonunun da meydana geldiğini göstermektedir (Zijlstra, 1952; Kerey, 1985; Opluštil vd., 2018). Buna ek olarak, Zonguldak Havzası'ndaki kömür damarlarından 1-B termal sıcaklık tarihlendirme modellemesi, Karbonifer, Permian ve sonrasında olası erozyon olaylarını göstermektedir (Yalçın vd., 2002; Karayığit vd., 2018a). Bu nedenle, Zonguldak Havzası'nda Karbonifer ve Kretase istifleri içinde kömür klastlarının gözlenmesi beklenebilir bir durumdur, ancak Zonguldak Havzası'nda kömür klastlarıyla ilgili bir çalışmaya literatürde rastlanılmamıştır. Diğer taraftan 1990'ların sonlarında Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) tarafından Kozlu kömür sahasında Karbonifer formasyonları (Alacaagzı, Kozlu ve Karadon Formasyonları) (Şekil 1c ve 1d) içindeki kömür damarlarının durumunu, jeolojik özelliklerini



Şekil 1- a) Zonguldak Havzası'nın konumu, b) Kozlu kömür sahası çevresinin geliştirilmiş stratigrafik istifi, c) Zonguldak Havzası'nın basitleştirilmiş bölgesel jeolojisi ve d) incelenen kuyular arasında basitleştirilmiş enine kesiti (Küskü vd., 1997; Yalçın vd., 2002; Karayiğit vd., 2018a).

ve kömür kökenli metan gazı potansiyelini incelemek için birkaç derin araştırma kuyusu açılmıştır ve bu araştırma kuyularında kesilen kömür damarları hakkında çeşitli yayınlar yapılmıştır (örn. Gürdal ve Yalçın, 2000, 2001, Yürüm vd., 2001a, b;

Yalçın vd., 2002; Gürdal vd., 2004; Karayiğit vd., 2018a). Araştırma kuyularının açılması sırasında, Karbonifer formasyonlarında kömür klüstü içeren birçok sedimanter seviye kesilmiştir (Oktay, 1995). Buna karşın palinolojik yaş tespiti için Karadon

Formasyonu'ndaki kömür klastlarından yalnızca çok sınırlı veri elde edilebilmiştir (Akgün vd., 1997) ve bugüne kadar bu klastlar üzerinde kömür petrografisi analizi ve/veya kökenleri hakkında bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma, Zonguldak Havzası'ndaki İnciğez klastikleri içinde yer alan Erken Apsiyen ve Geç Paleozoyik istifi içerisindeki kömür klastlarına ait ilk ayrıntılı vitrinit yansıtma ve mineralojik verileri değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın özel hedefi, erozyonun turba birikimi sırasında mı yoksa kömürleşme sırasında mı gerçekleştiğini tahmin etmek için bu kömür klastlarının kökenini ve zamanlamasını öğrenmeye çalışmaktır.

## 2. Jeolojik Konum

Havzadaki Karbonifer öncesi temel kayaları başlıca Siluriyen yaşlı Hamzafakılı (metasedimanter kayaç, şeyl ve kireçtaşı) ve Göktepe (metamorfize olmuş sedimanter kayaçlar ve bunları kesen diyabazik ve andezitik daykları ve silleri) formasyonları ve Devoniyen-Vizeyen yaşlı Yılanlı (denizel kireçtaşı ve dolomit) Formasyonu'ndan oluşmaktadır (Şekil 1b). Karbonifer yaşlı kömür içeren birimler, Alacağzı, Kozlu ve Karadon olmak üzere üç formasyona ayrılmıştır (Şekil 1b). Alacağzı Formasyonu, Serpukoviyen-Başkiriyen (Namuriyen) sırasında deltayik koşullar altında çökelmiş olan kumtaşı, kilttaşı, silttaşı ve kömür damarları araldanmalarından (Şekil 1b) oluşmaktadır (Ağralı, 1963; Akyol, 1972, Kerey, 1985; Akgün ve Akyol, 1992; Yalçın vd., 2002; Cleal vd., 2017). Kozlu Formasyonu, Alacağzı Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelip konglomera, kumtaşı, silttaşı, kilttaşı ve kömür damarları araldanmalarından oluşmaktadır (Şekil 1b). Formasyonla ilgili önceki sedimantolojik ve paleontolojik çalışmalar, formasyonun Langsettiyen (Vestfaliyen A) sırasında akarsu koşullarında (delta ve menderesli akarsu) ve göl koşulları altında çökeldiğini göstermektedir (Ağralı, 1970; Akyol, 1972; Kerey, 1985; Akgün ve Akyol, 1992; Oktay, 1995; Yalçın vd., 2002; Cleal ve Van Waveren, 2012; Opluştıl vd., 2018). Kozlu Formasyonu üzerine uyumlu olarak Karadon Formasyonu (Şekil 1b) gelmektedir ve Kozlu Formasyonu'nda olduğu gibi konglomera, kumtaşı, silttaşı, kilttaşı ve kömür damarları araldanmalarından oluşmaktadır. Bu formasyon, Dukmantiyen-Asturiyen (Vestfaliyen B-D) boyunca akarsu (delta ve menderesli akarsu) ve göl sel koşullar altında çökelmiştir (Ağralı,

1970; Kerey, 1985; Akgün ve Akyol, 1992; Oktay, 1995; Yalçın vd., 2002; Cleal ve Van Waveren, 2012; Opluştıl vd., 2018).

Havzada Karbonifer sonrası formasyonlar, çoğunlukla Erken Kretase yaşlı Zonguldak Formasyonu ile başlamaktadır (Şekil 1c ve 1d) (Kerey, 1985; Karayiğit vd., 1998; Yalçın vd., 2002; Tüysüz vd., 2016). Zonguldak Formasyonu'nda kömür klastları ve kömürlü malzemenin varlığı bildirilmişse de (Mann vd., 1995; Yalçın vd., 2002), bu formasyonda bugüne kadar herhangi bir kömür damarı tespit edilmemiştir. Zonguldak Formasyonu, alttan üste doğru alt Barremiyen yaşlı Öküşne klastikleri üyesi, Barremiyen yaşlı Öküşne üyesi, Erken Apsiyen yaşlı İnciğez klastikleri üyesi ve Apsiyen yaşlı Kapuz üyesi olmak üzere dört üyeye ayrılmıştır (Küskü vd., 1997; Yalçın vd., 2002). Alt Barremiyen yaşlı Öküşne klastikleri, konglomera ve kumtaşı-çamurtaşı araldanmasından, Erken Apsiyen yaşlı İnciğez kırıntılıları ise konglomera, kumtaşı, silttaşı, kilttaşı ve kireçtaşı araldanmasından oluşmaktadır. Barremiyen yaşlı Öküşne üyesi çoğunlukla dolomitik kireçtaşlarından, Apsiyen yaşlı Kapuz üyesi ise kumlu kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Hersiniyen ve Alpin orojenik hareketleri, Zonguldak Havzası'nda faylanmalara ve kıvrımlanmalara neden olmuştur (Şekil 1c ve 1d) (Okay vd., 1994; Yalçın vd., 2002; Okay ve Nikishin, 2015). Bunun sonucu olarak havzada Karbonifer ve Kretase yaşlı çökeller deforme olmuştur. Ayrıca Karbonifer sonrası oluşan magmatik dayk ve siller de havzadaki Karbonifer ve Kretase yaşlı formasyonları kesmiştir (Karayiğit, 1992; Karayiğit vd., 1998; Yalçın vd., 2002).

## 3. Materyal ve Uygulanan Yöntemler

Kozlu kömür sahasında açılan K20K ve K20H araştırma kuyularının farklı derinliklerden toplam elli dört adet kömür klast numunesi alınmıştır (Çizelge 1). Bu çalışmada, Alacağzı Formasyonu'ndan K20K'dan iki ve K20H'den üç olmak üzere beş adet kömür klast numunesi incelenmiş; Kozlu Formasyonu'ndan otuz altı kömür klast numunesi (K20K'dan altı ve K20H'den otuz); Karadon Formasyonundan oniki kömür klast numunesi (K20K'dan dört ve K20K'den sekiz); K20K kuyusunda Erken Apsiyen yaşlı İnciğez klastiklerine (Zonguldak Formasyonu) ait kireçtaşlarından sadece

Çizelge 1-K20K ve K20H araştırma kuyularından alınan kömür klasti numunelerinin listesi ve içinde bulunduğu sedimanter kayacın derinlikleri ve litolojisi.

Kuyu	Formasyon	Yaş	Numune No	Numune derinliği (m)	İçinde bulunduğu sedimanter kayac
K20K	Zonguldak (İnciğez klastikleri)	Erken Apsiyen	K20K-O1	250,65	Piritli kireçtaşı
	Karadon	Langsettiyen (Vestfaliyen A)	K20K-O2	700,50	Konglomera
			K20K-O3	710,50	Konglomera
			K20K-O4	770,55	Konglomera
			K20K-O5	789,15	Konglomera
	Kozlu	Dukmantiyen-Asturiyen (Vestfaliyen B-D)	K20K-O6	1030,10	Kumtaşı
			K20K-O7	1033,70	Konglomera
			K20K-O8	1037,55	Konglomera
			K20K-O9	1042,45	Konglomera
			K20K-O10	1055,85	Konglomera
			K20K-O11	1099,50	Kumtaşı
	Alacağzı	Serpukoviyen-Başkiriyen (Namuriyen)	K20K-O12	1125,80	Konglomera
			K20K-O13	1230,95	Konglomera
K20H	Karadon	Langsettiyen (Vestfaliyen A)	K20H-O1	431,70	Kumtaşı
			K20H-O2	451,00	Kumtaşı
			K20H-O3	455,40	Konglomera
			K20H-O4	458,80	Konglomera
			K20H-O5	527,30	Kumtaşı
			K20H-O6	541,00	Kumtaşı
			K20H-O7	636,20	Kumtaşı
			K20H-O8	686,30	Kumtaşı
	Kozlu	Dukmantiyen-Asturiyen (Vestfaliyen B-D)	K20H-O9	754,80	Konglomera
			K20H-O10	760,20	Konglomera
			K20H-O11	813,40	Konglomera
			K20H-O12	829,25	Konglomera
			K20H-O13	1002,80	Konglomera
			K20H-O14	1010,70	Konglomera
			K20H-O15	1025,65	Konglomera
			K20H-O16	1045,70	Kumtaşı
			K20H-O17	1061,30	Kumtaşı
			K20H-O18	1081,60	Kumtaşı
			K20H-O19	1101,80	Konglomera
			K20H-O20	1118,30	Konglomera
			K20H-O21	1136,20	Konglomera
			K20H-O22	1141,40	Konglomera
			K20H-O23	1146,80	Konglomera
			K20H-O24	1162,20	Kumtaşı
			K20H-O25	1207,20	Kiltaşı
			K20H-O26	1219,35	Kumtaşı
			K20H-O27	1244,60	Konglomera
			K20H-O28	1281,30	Kumtaşı
			K20H-O29	1296,80	Konglomera
			K20H-O30	1358,50	Kumtaşı
			K20H-O31	1447,00	Kumtaşı
			K20H-O32	1474,20	Konglomera
			K20H-O33	1484,05	Konglomera
			K20H-O34	1542,60	Konglomera
			K20H-O35	1624,50	Konglomera
			K20H-O36	1803,80	Konglomera
			K20H-O37	1834,20	Kumtaşı
			K20H-O38	1850,00	Konglomera
	Alacağzı	Serpukoviyen-Başkiriyen (Namuriyen)	K20H-O39	1900,00	Kumtaşı
			K20H-O40	1972,30	Kumtaşı
			K20H-O41	1981,00	Çakıllı kumtaşı

bir adet kömür klastı numunesi incelenmiştir. K20H kuyularında tespit edilen formasyonların derinlikleri aşağıdan yukarıya doğru; 1891,00-2002,20-m Alacağzı Formasyonu, 715,30-1891,00-m Kozlu Formasyonu, 424,70-715,3-m Karadon Formasyonu ve 0-424,70-m Zonguldak Formasyonu (287,00-424,70 Öküşne klastikleri ve 0-287,00-m Öküşne kireçtaşı); K20K kuyusunda ise 1119,90-1251,65-m Alacağzı Formasyonu, 793,05-1119,90-m Kozlu Formasyonu, 468,70-793,05-m Karadon Formasyonu ve 0-468,70-Zonguldak Formasyonu (264,55-468,70-m Öküşne kireçtaşı, 203,05-264m Erken Apsiyen yaşlı İnciğez kırıntılıları ve 0-203-m Kapuz kireçtaşı) şeklindedir (Şekil 1d),

Numunelerin kömür petrografisi incelemeleri, ASTM D2797/D2797M (2011) standardına göre hazırlanmış parlak kesitler üzerinde yapılmış ve bunun için Hacettepe Üniversitesi'nde bulunan kömür petrografisi mikroskobu (J&M donanımı ve yazılımı entegre Leica DM4000M) kullanılmıştır. Maseral tanımlamaları, ICCP (1998 ve 2011) tarafından modifiye edilmiş olan ICCP 1994 sınıflandırması ve Pickel vd. (2017)'ne göre yapılmıştır. Rastgele vitrinit yansıtma ölçümleri (%Rr) ISO 7404-5 (2009) standardına göre yağlı 50X büyütme objektif kullanılarak kollotelinit üzerinde ölçülmüştür. Her iki kuyuda incelenen yirmi sekiz kömür klast numunesinin (Zonguldak Formasyonu'ndan bir numune, Karadon Formasyonu'ndan beş numune, Kozlu Formasyonu'ndan on sekiz numune ve Alacağzı Formasyonu'ndan dört numune) mineralojik bileşimleri, Cu anot tüplü X-ışını toz kırınımı (XRD) yardımıyla belirlenmiş ve çekimler Hacettepe Üniversitesi'nde yapılmıştır.

Numunelerin mineralojik bileşimleri ayrıntılı incelemek amacıyla seçilen sekiz numuneye (K20K-O2 ve -08, K20H-O1, -05, -07, -015, -039 ve -041) ait parlak kesitler, karbonla kaplanmış ve Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü ile Hacettepe Üniversitesi'nde kurulu olan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)-Enerji Ayrımlı X-ışını Analizi (EDX) kullanılarak incelenmiştir.

#### 4. Bulgular

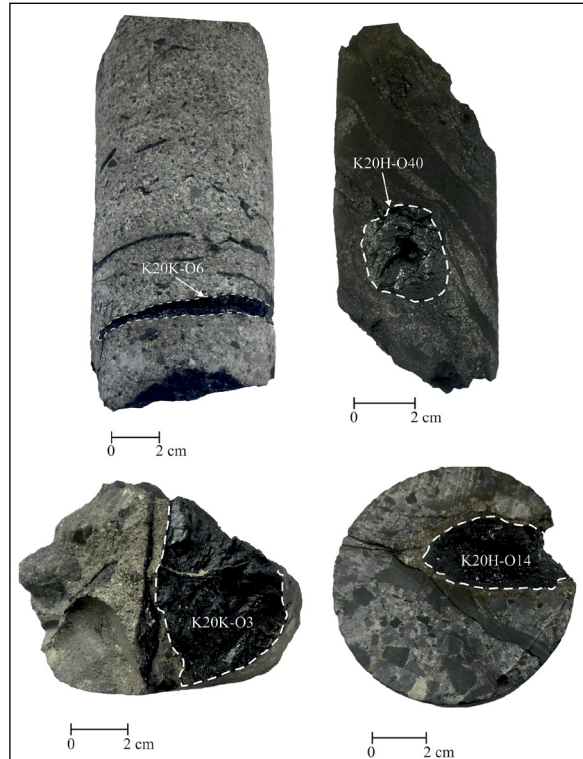
##### 4.1. Makroskobik Tanımlama

Geç Karbonifer yaşlı formasyonlarda incelenen kömür klast numuneleri esas olarak kömür damarlarını

üzerleyen kumtaşı ve konglomera tabakalarından alınmış, buna karşın Zonguldak Formasyonu İnciğez klastikleri içindeki kömür klastı ise kireçtaşından derlenmiştir (Çizelge 1). İncelenen kömür klastı numunelerinin boyutları (1-5 cm) değişken olup, genellikle 1 cm<sup>2</sup> civarında yüzey alanına sahiptirler (Şekil 2). Numuneler çoğunlukla vitrinitik/ksilitik parçalardır. İncelenen klast numuneleri genellikle donuk parlak yarı köşeli ile köşeli ve nadiren yuvarlak parçalar şeklindedir. Kömür klastları ayrıca herhangi bir belirli yönlenme göstermemektedir (Şekil 2). Bunun yanı sıra, Geç Karbonifer istifindeki numunelerinden bazılarında kırık/çatlak dolgusu karbonat mineralleri makroskopik olarak gözlenmiştir. Bununla beraber benzer kırık/çatlak dolguları ise kömür klastının içinde bulunduğu sedimanter kayalarda gözlenmemiştir. Buna karşılık, Zonguldak Formasyonu'nun İnciğez klastiklerinden alınan kömür klast numunesinde ve içinde bulunduğu kireçtaşında kırık/çatlak dolgusu olarak piritler gözlenmektedir.

##### 4.2. Kömür Petrografisi ve Kömür Klastlarının Vitrinit Yansıtması

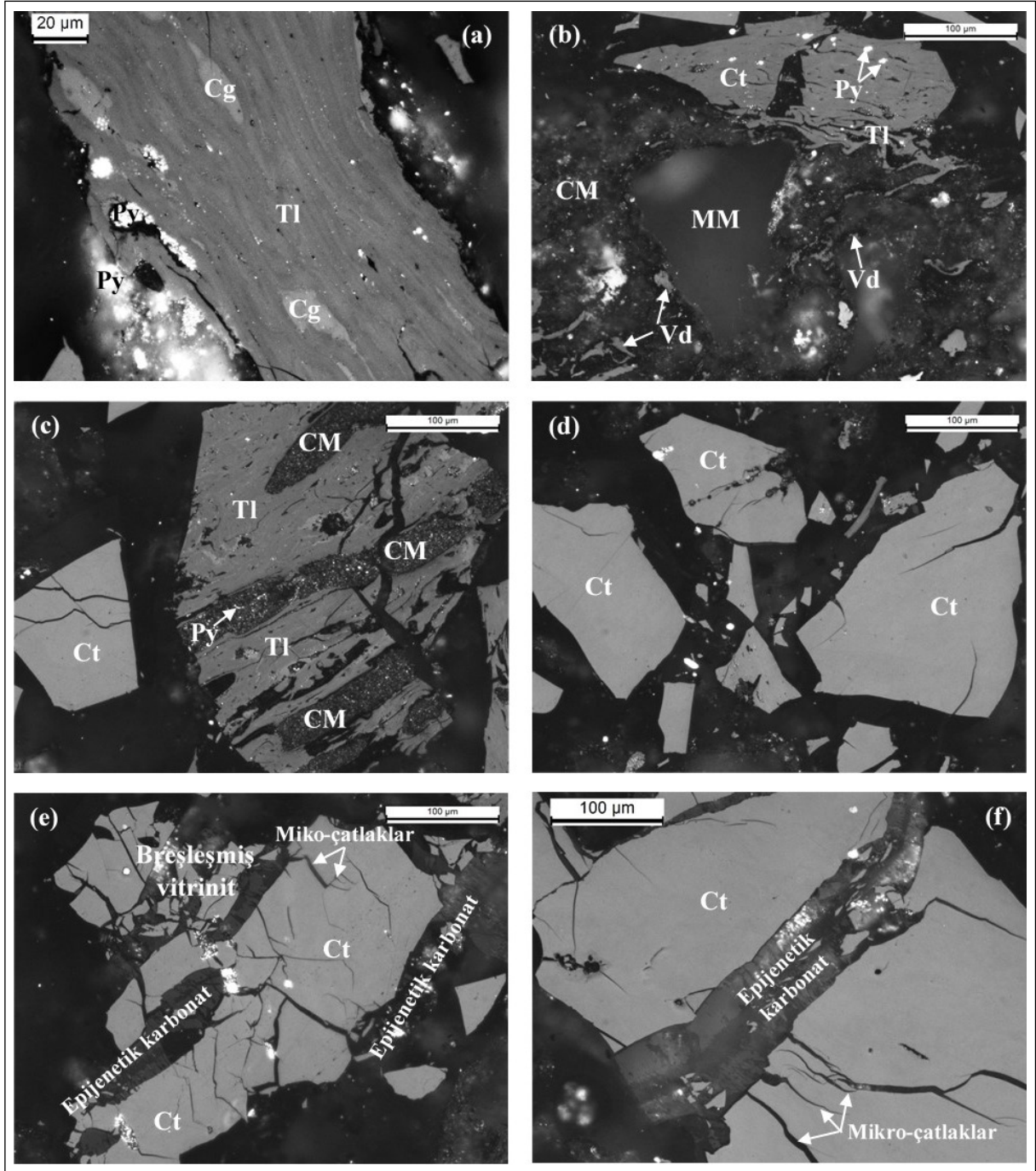
Kömür petrografisi analizleri sonuçlarına göre numunelerin büyük bir kısmı sadece vitrinit



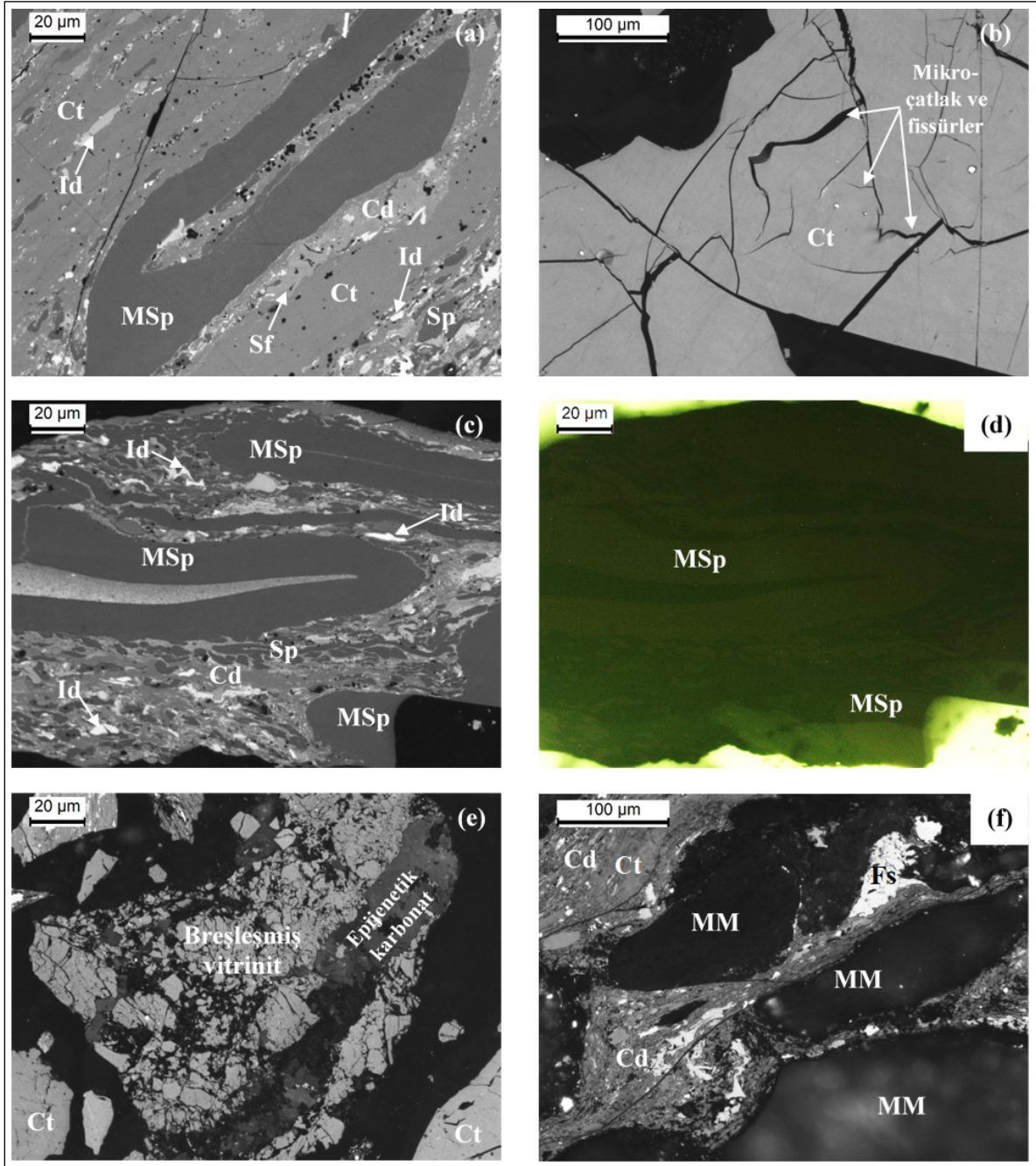
Şekil 2- İncelenen kömür klast numunelerine ait seçilmiş fotoğraflar.

maserallerinden ve nadiren liptinit ile inertinit maserallerinden oluşmaktadır (Şekil 3-7). Bu nedenle incelenen klast numunelerinde ayrıntılı maseral sayımları yapılamamıştır. Kollotelinit, incelenen

tüm numunelerde en yaygın vitrinit maserali iken (Şekil 3b-f, 4a, 4b, 5a, 5b, 6a, 6b ve 7a, 7b), telinit vitrinitik/ksilitik klast numunelerinde daha yaygındır (Şekil 3a-c ve 5a). Kollodetrinit ve vitrodetrinit,



Şekil 3- Zonguldak Formasyonu'ndan alınan klast numunesine (K20K-O1) ait seçilmiş mikrofotoğraflar; a) telinit (TI) ve hücre boşluklarını dolduran korpogelin (Cp) ve framboidal pirit (Py) taneleri; b) kollotelinit (Ct) içindeki framboidal pirit (Py) taneleri, telinit (TI), ve kil minerali (CM) matrisi içindeki vitrodetrinit (Vd) ve mineral maddeler (MM), c) kollotelinit (Ct) ve telinit (TI) ve hücre boşluğu dolgusu kil minerali (CM) ve pirit (Py), d) kollotelinit (Ct), e) ve f) mikro çatlaklı kollotelinit (Ct) ve breşleşmiş vitrinit taneleri arasındaki epigenetik karbonat kırık/çatlak dolgusu. Tüm mikrofotoğraflar üstten aydınlatmalı normal ışıkta ve 500× toplam büyütme yağlı objektifte çekilmiştir. Numunenin Rr değeri, %1,01±0,02'dir.

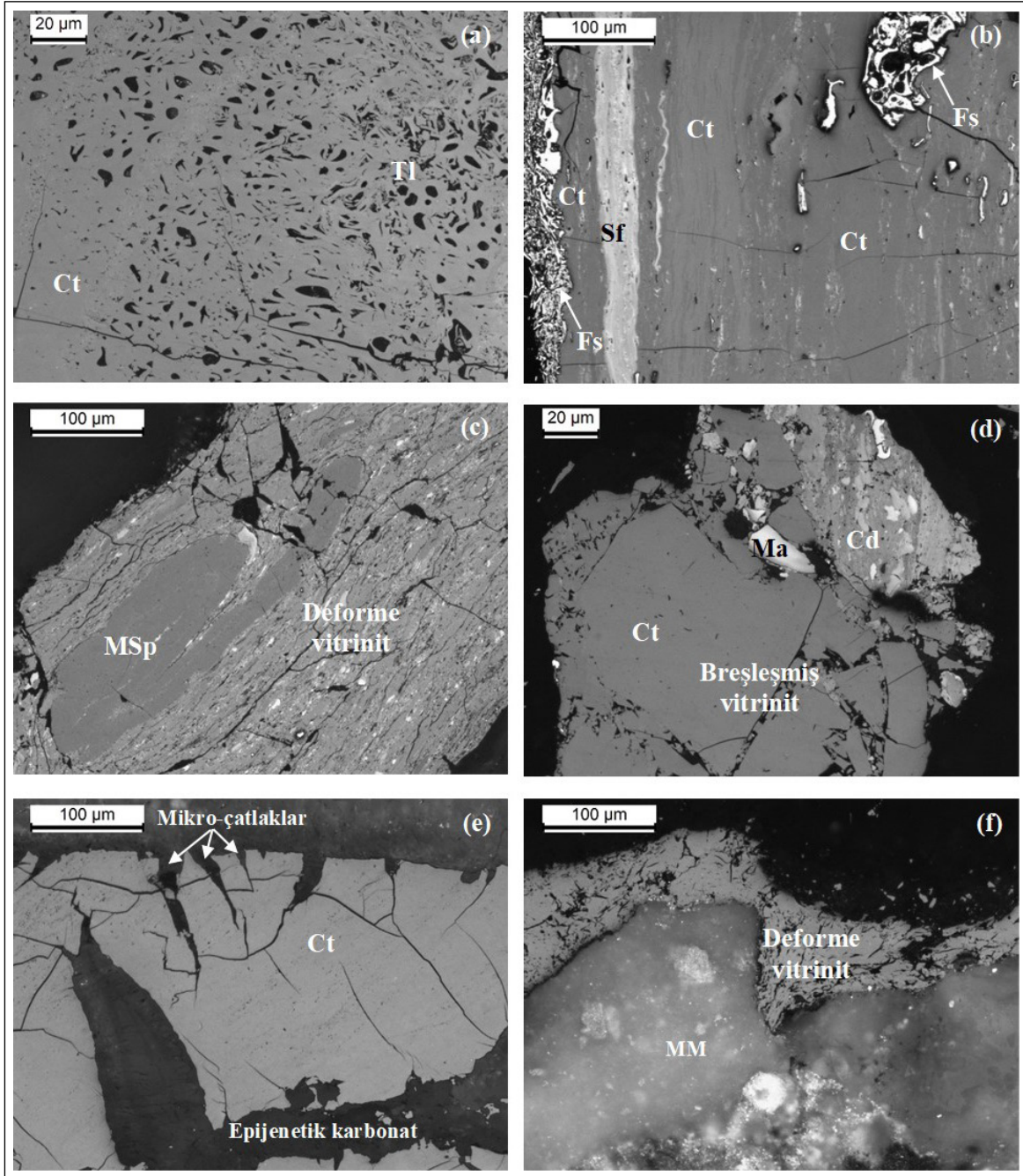


Şekil 4- Karadon Formasyonu'ndan alınan klast numunelerinden seçilmiş fotomikrograflar; a) kollodetrinit (Cd) içinde intertrodetrinit (Id), semifüzinit (Sf), megasporinit (MSp) ve sporinit (Sp) ve kollotelinit (Ct), b) kollotelinit (Ct) içindeki mikro çatlaklar ve fisürler, c) ve d) kollodetrinit (Cd) içinde intertrodetrinit (Id), megasporinit (MSp) ve sporinit (Sp), e) breşleşmiş vitrinit ve kollotelinit (Ct) arasındaki epigenetik karbonat mineral dolguları, f) plastik deformasyon özelliği gösteren kollodetrinit (Cd) ve füsinit (Fs) ile mineral madde (MM). Bütün mikrofotograflar üstten aydınlatmalı normal ışıkta (a, b, c, e ve f) veya mavi ışık, turuncu filtrede (c) kullanılarak, 500× toplam büyütmeyle yağlı objektifte çekilmiştir. Fotomikroğraf a, c ve d, K20H-O3'ten (%Rr=0,94±0,02), b, K20H-O1'den (%Rr=0,98±0,02), e ve f, K20H-O7'den (%Rr=0,99±0,02) çekilmiştir.

numunelerde tanımlanan diğer vitrinit maseralleridir (Şekil 3b, 4c ve f, 5d, 6c, 6d ve 7a). Ayrıca, Zonguldak Formasyonu'ndan alınan klast numunesinde ise korpogelinit tanımlanmıştır (Şekil 3a). Daha da

önemlisi, incelenen tüm formasyonlara ait kömür klastı numunelerinde deforme olmuş ve/veya breşleşmiş vitrinit taneleri (Şekil 3e, 4e, 5c, 5d ve 6a) ile mikro çatlaklı ve fisürlü vitrinit taneleri (Şekil 3e,

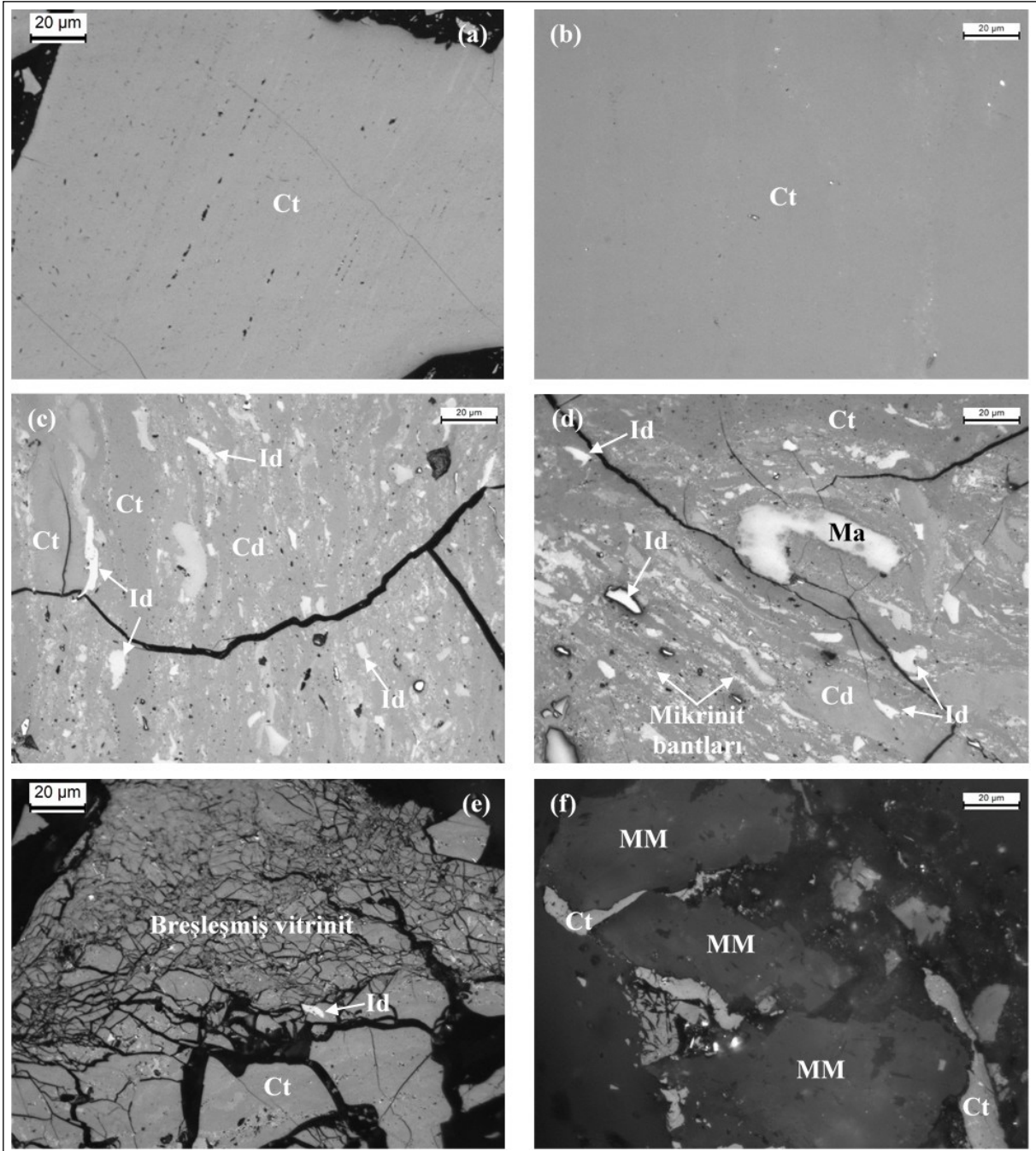




Şekil 5- Kozlu Formasyonu'ndan alınan klast numunelerinden seçilmiş fotomikroğraflar; a) telinit (Tl) ve kollotelinit (Ct), b) kollotelinit (Ct), füsinit (Fs) ve semifüsinit (Sf), c) deforme olmuş vitrinit ve megasporinit (Msp) tanesi, d) kollodetrinit (Cd), makrinit (Ma), kollotelinit (Ct) ve breşleşmiş vitrinit taneleri, e) mikro çatlaklar içeren kollotelinit (Ct) ve epigenetik karbonat kırık/çatlak dolgusu, f) mineral madde (MM) etrafında deforme olmuş vitrinit. Bütün mikrofotograf lar üstten aydınlatmalı normal ışıkta 500× toplam büyütmeli yağlı objektifte çekilmiştir. Fotomikroğraf a ve b, K20K-O7'den (%Rr=1,26±0,02), c, K20H-O10'dan (%Rr=1,06±0,03), d, K20H-O33'ten (%Rr=1,32±0,03), e, K20K-O8'den (%Rr=1,28±0,03), K20H-O22'den f (%Rr=1,23±0,03) çekilmiştir.

3f, 4b ve 5e) gözlenmiştir. Bu tür tanelerin varlığı, turba yerleşimi sırasında ilksel turbalıklar içerisinde kütle hareketlerinin ve/veya esas olarak kömürleşme sonrası tektonik deformasyonların gerçekleştiğini

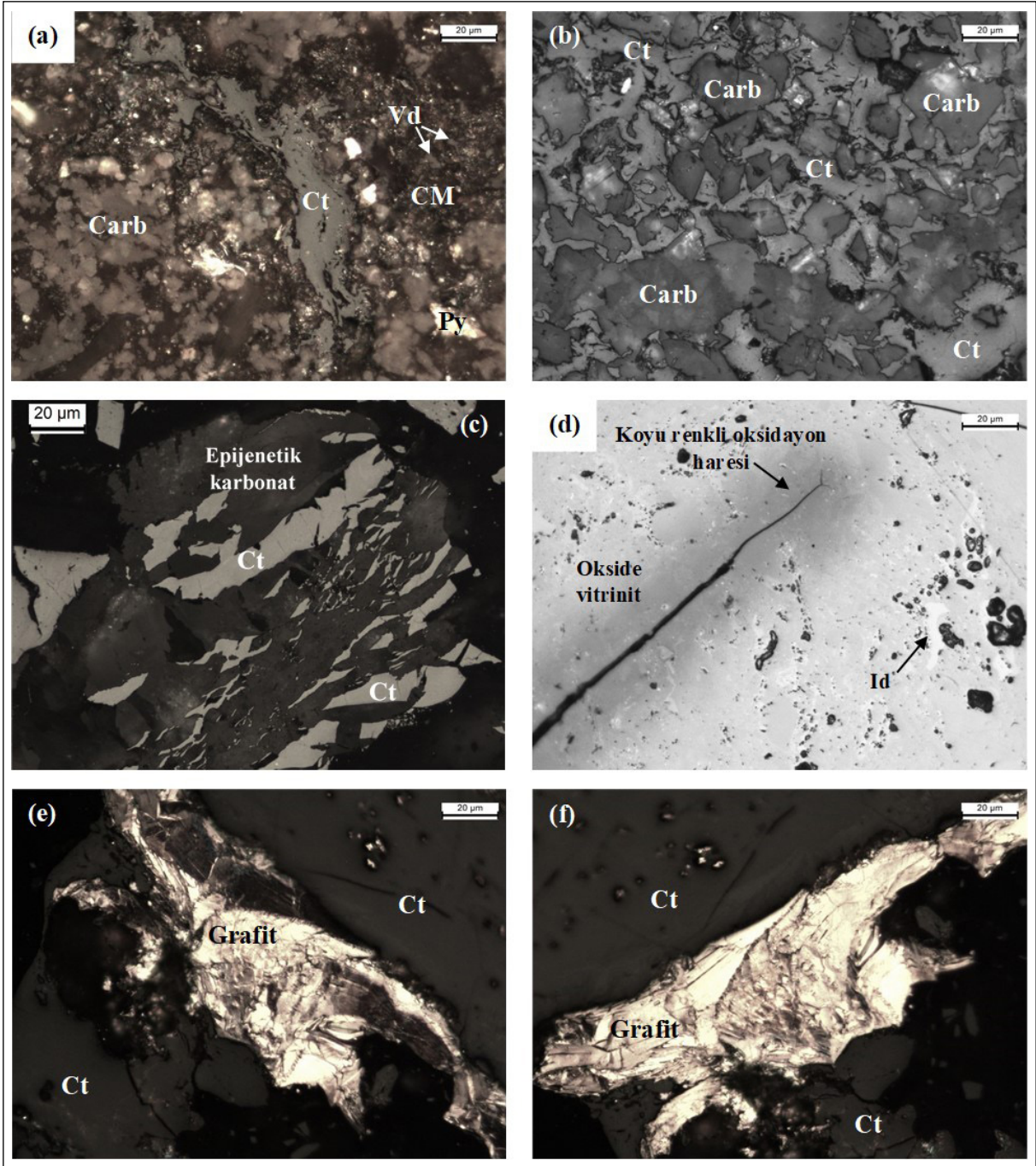
işaret etmektedir (Tails, 1985; Xie vd., 2019; Hower vd., 2021). Zonguldak kömür sahasındaki Karbonifer yaşlı kömür damarlarının Hersiniyen ve Alpin orojenik hareketlerinden etkilendikleri için



Şekil 6- Alacaagzi Formasyonu'ndan alınan klast numunelerinden seçilmiş fotomikrograflar; a, b) kollotelinit (Ct), c, d) kollotelinit (Ct), ve kollodetrinit (Cd) içine gömülmüş inertodetrinit (Id), makrinit (Ma) ve mikrinit bantları, e) mineral madde (MM) çevresinde deforme olmuş kollotelinit (Ct), f) kollotelinit (Ct), inertodetrinit (Id) ve breşleşmiş vitrinit taneleri. Bütün mikrofotograflar üstten aydınlatmalı normal ışıkta 500× toplam büyütme yağlı objektifte çekilmiştir. Fotomikroğraf a ve c, K20H-O41'den (%Rr=1,73±0,03), b, K20K-O12'den (%Rr=1,29±0,02), d ve e, K20K-O13'ten (%Rr=1,29±0,03), f, K20H-O40'den (%Rr=1,72±0,03) çekilmiştir.

deforme olmalarından dolayı ikinci olasılık daha olası görünmektedir (Yalçın vd., 2002; Okay ve Nikishin, 2015; Karayığit vd., 2018a). Buna ek olarak, Alacaagzi Formasyonu'ndan alınan kömür klastlarında nispeten koyu oksidasyon harelere sahip oksitlenmiş vitrinit

taneleri (Şekil 7c ve 7d) gözlenmektedir. Ayrıca, Kozlu ve Alacaagzi formasyonlarının konglomeralarından alınan klast numunelerinin vitrinit tanelerinde klastik mineral madde etrafında olası kırılma deformasyonu da görülebilmektedir (Şekil 4f, 5f ve 6f).



Şekil 7- Alacaagazi Formasyonu'ndan alınan klast numunelerinden seçilmiş fotomikrograflar; a) kil minerali (CM) matrisi, sinjenetik karbonat (Carb) taneleri ve pirit (Py) içinde kollotelinit (Ct) ve vitrodetrinit (Vd), b) kollotelinit (Ct) ve karbonat (Carb) taneleri; c) breşleşmiş kollotelinit (Ct) taneleri arasındaki epigenetik karbonat kırık/çatlak dolguları d) kısmen oksitlenmiş vitrinit ile inertodetrinit (Id), ve e), f) muhtemelen Karbonifer öncesi temelden türeyen klastik grafit tanesi ve kollotelinit (Ct). Bütün mikrofotografar üstten aydınlatmalı normal ışıkta (a-d) ve kısmen polarizör (e-f) kullanılarak 500× toplam büyütme yağlı objektifte çekilmiştir. Fotomikrograf a, b, d-f, K20K-O13'ten (%Rr=1,29±0,03) ve c, K20H-O40'tan (%Rr=1,72±0,03) çekilmiştir.

İnertinit ve liptinit grubu maseralleri, her iki kuyudaki kömür damarlarında yapılan gözlemlerde de belirtildiği gibi (Karayığit vd., 2018a), genellikle kollodetrinitin hümit matrisinde yer almaktadır

(Şekil 4a-d, 5b, 5c ve 6c, 6d). Füsinit, semifüsinit, makrinit ve inertodetrinit genel olarak gözlenen inertinit grubu maseralleri iken, bazı numunelerde kollodetrinit içinde mikrinit bantları da tanımlanmıştır

(Şekil 4a-c, 5b, 5d ve 6c, 6d). İncelenen kuyularda ve Amasra kömür sahasındaki Kozlu ve Karadon formasyonlarına benzer şekilde (Karayiğit vd., 2018a, b), çalışılan numunelerde yaygın olarak sporinit (Şekil 4a, 4c ve 4d) gözlenirken, kütinit nadiren tanımlanmıştır. Karadon Formasyonu'nda liptinit maseralleri, özellikle sporinitler, bazı numunelerde mavi ışık ve turuncu filtrede çok zayıf bir floresans renk gösterirken (Şekil 4c, 4d), Kozlu Formasyonu'nda sporinitler üstten aydınlatmalı normal ışık altında soluk gri bir renk göstermektedir (Şekil 5c). İncelenen kuyulardaki kömür damarlarından daha önce Karayiğit vd. (2018a) tarafından açıklandığı gibi kırık/çatlak dolgusu karbonat mineralleri, breşlenmiş vitrinit tanelerinin (Şekil 3e, 3f, 4e ve 7c) arasında yaygın olarak tanımlanmaktadır. Buna ek olarak, bazı numunelerde kırık/çatlak dolgusu piritler ve piritleşmiş maseraller de tespit edilmiştir. Kömür petrografisi mikroskobu yardımıyla framboidal pirit taneleri (Şekil 3a ve 7a), nadiren kil mineral yığılımları (Şekil 3b, 3c ve 7a) ve sinjenetik karbonat mineralleri tanımlanmıştır (Şekil 7a, 7b). Alacağzı Formasyonu'nda az miktarda pulsu grafit taneleri de saptanmıştır (Şekil 7e, 7f). İncelenen kuyularda termal etkiyi işaret edecek şekilde doğal kok kömürü oluşumları gözlenmemiştir. Bu durum göz önüne alındığında grafit tanelerinin magmatik dayklarla kesildiği bilinen Hamzafakılı ve/veya Göktepe formasyonlarından ana kömür damarlarının oluştuğu ilksel turbalıklara klastik girdiler olarak taşındığı düşünülmektedir (Küskü vd., 1997; Karayiğit vd., 2018a).

Alacağzı Formasyonu kömür klast numunelerinin %Rr değerleri, K20H (1,70-%1,73±0,03) ve K20K (1,29±0,03) kuyuları arasında önemli farklılıklar göstermektedir (Çizelge 2). Kozlu Formasyonu'nun K20H kuyusunda %Rr değerleri geniş bir aralığa sahip olup 1,04±0,02 ile 1,54±0,02 arasında değişmektedir. Buna karşın K20K kuyusunda Kozlu Formasyonu'ndan alınan numunelerin %Rr değerleri 1,08-1,31±0,02 arasındadır. Karadon Formasyonuna ait numunelerinin %Rr değerleri her iki kuyuda benzer olup K20H kuyusunda 0,94±0,02 ile %1,06±0,02 ve K20K kuyusunda 1,02-1,05±0,02 arasında değişmektedir (Çizelge 2). Zonguldak Formasyonu Erken Apsiyen yaşlı İnciğez klastik üyesinden alınan

bir kömür klast numunesinin (K20K-O1) %Rr değeri ise 1,01±0,02 olarak bulunulmuştur (Çizelge 2).

### 4.3. Kömür Klastlarının Minerolojisi

XRD analizi sonuçları, incelenen tüm formasyonlardan analiz edilen kömür klastı numunelerinin benzer mineralojik bileşimlere sahip olduğunu göstermiştir (Çizelge 3). Numunelerde kuvars, genellikle bol ile baskın bir faz olarak saptanırken, kil mineralleri (kaolinit ve illit/mika) ve feldispat minör fazlardır (Çizelge 3). Beklendiği üzere, kırık/çatlak dolgusu karbonat minerallerinden kalsit baskın fazdır ve bu numunelerde dolomit ile ankerit minör fazlar olarak saptanmıştır (Çizelge 3). Alacağzı Formasyonu'ndan alınan bir numunede (K20K-O13) siderit tespit edilmiştir (Çizelge 3). Zonguldak Formasyonu Erken Apsiyen yaşlı İnciğez klastik üyesinden alınan bir kömür klast numunesinde pirit, bol faz olarak bulunurken, Karadon ve Kozlu formasyonlarından alınan bazı numunelerde minör faz olarak tespit edilmiştir (Çizelge 3). XRD analizlerinin yanısıra SEM-EDX incelemelerine göre aksesuar mineraller olarak anglezit, apatit, barit, kalkopirit, klorit (şamozit), galen, monazit, sfalerit, titanit/sfen, Ti-oksitler ve zirkon saptanmıştır (Çizelge 3).

## 5. Tartışma

### 5.1. Minerallerin Kökeni

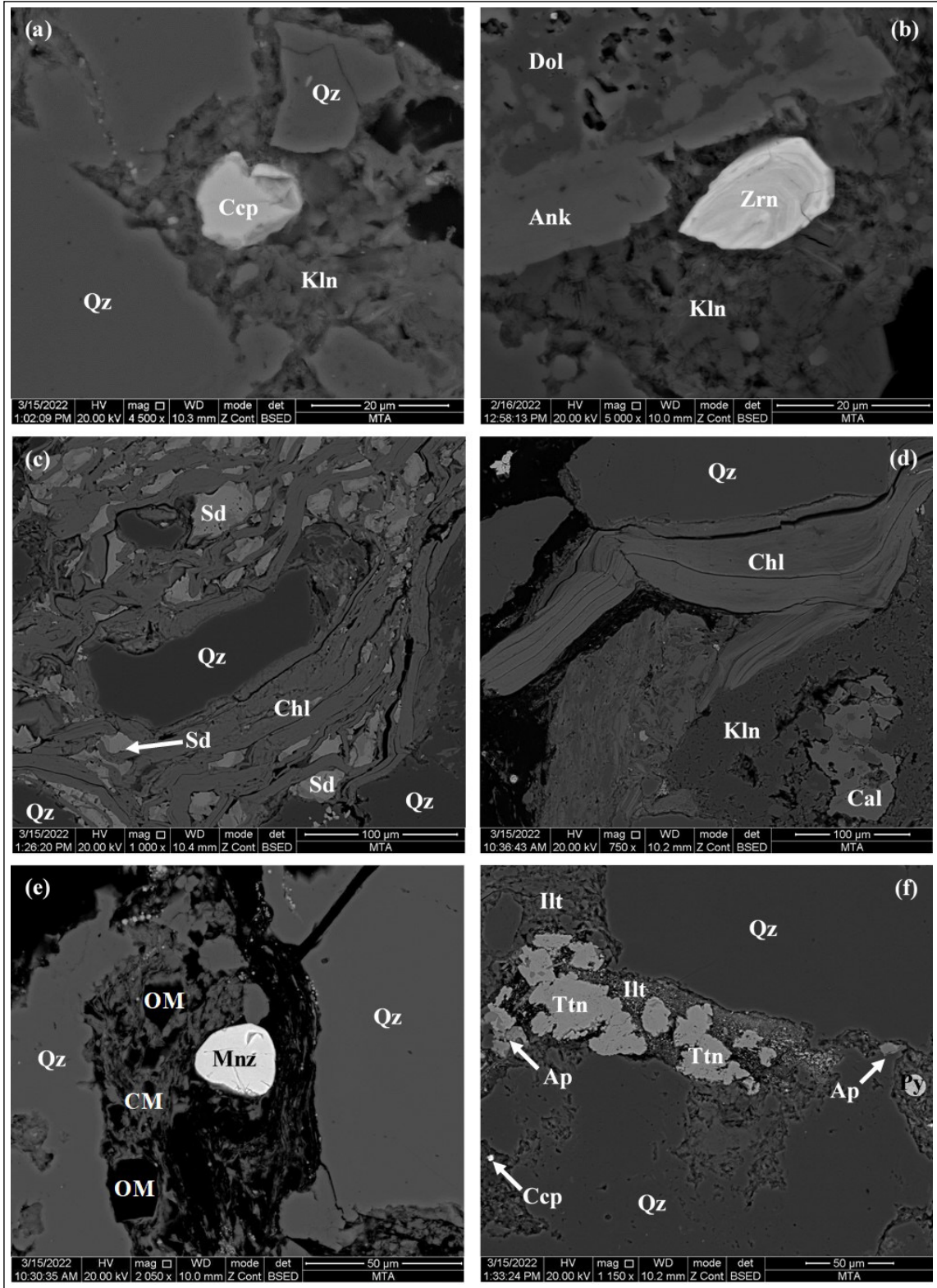
Petrografik ve SEM-EDX incelemeleri, kömür klast numunelerindeki minerallerin ana Karbonifer kömür damarlarının ilksel turbalıklarda oluştuğunu ve/veya içinde bulunduğu sedimanter kayaçların diyajenezinden ve ana kömür damarlarının erken kömürleşmesinden sonra kömür klastlarının çözümlerinin kırık/çatlaklarında çökeldiğini göstermektedir. Kuvars, incelenen kuyulardaki Karbonifer kömür damarlarında olduğu gibi, genellikle SEM incelemesi sırasında kil mineral matriksleri içinde taneler olarak tanımlanmaktadır (Şekil 8a, 8d, 8e, 8f, 9a ve 10b). Bu taneler, ana kömür damarlarının ilksel turbalıklarına klastik girdiler ile ilişkilidirler. Kuvars, feldispat, apatit, monazit, titanit/sfen ve zirkon taneleri ve organik madde (maseraller) içeren kil mineral yığılımları, incelenen klast numunelerinde gözlenmiştir ve SEM-EDX verileri, bu kil yığılımlarının matrikslerinin çoğunlukla kaolinitik

Çizelge 2- K20K ve K20H araştırma kuyularından alınan kollotelinitin rastgele yansıtmasının ortalama değerleri (%Rr) ve standart sapması (Stdv).

Kuyu	Formasyon	Yaş	Numune No	%Rr ± Stdv
K20K	Zonguldak	Early Aptian	K20K-O1	1,01±0,02
	Karadon	Langsettiyen (Vestfaliyen A)	K20K-O2	1,05±0,02
			K20K-O3	1,05±0,02
			K20K-O4	1,05±0,02
			K20K-O5	1,02±0,02
	Kozlu	Dukmantiyen-Asturiyen (Vestphalian B-D)	K20K-O6	1,08±0,02
			K20K-O7	1,26±0,02
			K20K-O8	1,28±0,03
			K20K-O9	1,31±0,03
			K20K-O10	1,18±0,03
	Alacağzı	Serpukoviyen-Başkiriye (Namuriyen)	K20K-O11	1,19±0,02
			K20K-O12	1,29±0,02
			K20K-O13	1,29±0,03
K20H	Karadon	Langsettiyen (Vestfaliyen A)	K20H-O1	1,04±0,03
			K20H-O2	0,98±0,02
			K20H-O3	0,94±0,02
			K20H-O4	0,99±0,03
			K20H-O5	1,00±0,03
			K20H-O6	1,00±0,02
			K20H-O7	0,99±0,02
			K20H-O8	1,06±0,02
	Kozlu	Dukmantiyen-Asturiyen (Vestfaliyen B-D)	K20H-O9	1,04±0,02
			K20H-O10	1,06±0,03
			K20H-O11	1,06±0,02
			K20H-O12	1,10±0,02
			K20H-O13	1,16±0,03
			K20H-O14	1,18±0,02
			K20H-O15	1,15±0,02
			K20H-O16	1,19±0,02
			K20H-O17	1,15±0,02
			K20H-O18	1,28±0,02
			K20H-O19	1,28±0,03
			K20H-O20	1,19±0,03
			K20H-O21	1,22±0,02
			K20H-O22	1,23±0,03
			K20H-O23	1,24±0,03
			K20H-O24	1,31±0,02
			K20H-O25	1,30±0,02
			K20H-O26	1,20±0,02
			K20H-O27	1,26±0,03
			K20H-O28	1,25±0,03
			K20H-O29	1,27±0,03
			K20H-O30	1,31±0,02
			K20H-O31	1,42±0,02
			K20H-O32	1,32±0,03
			K20H-O33	1,32±0,03
			K20H-O34	1,41±0,02
			K20H-O35	1,49±0,03
			K20H-O36	1,54±0,02
			K20H-O37	1,54±0,02
			K20H-O38	1,52±0,03
	Alacağzı	Serpukoviyen-Başkiriye (Namuriyen)	K20H-O39	1,70±0,03
			K20H-O40	1,72±0,03
			K20H-O41	1,73±0,03

Çizelge 3- XRD ve SEM-EDX analizlerine göre analiz edilen kömür klâsı numunelerinde tanımlanan mineraller (+++ = baskın faz, ++ = bol faz, + = XRD'ye göre minör faz, a: SEM-EDX'e göre; Kısaltmalar: CM: kil mineralleri, Feld: feldispatlar, Ank/Dol: ankerit/dolomit, Mnz/Ap: monazit/apatit).

Kuyu	Formasyon	Numune No	Kuvars	CM	Feld	Titanit	Kalsit	Ank/Dol	Siderit	Pirit	Kalkopirit	Galen	Sfalerit	Ti-oksitler	Mnz/Ap	Barit	Anglezit	Zirkon		
K20K	Zonguldak	K20K-O1	+++	+			+	+		++										
		K20K-O2	++	a				+	a											
	Karadon	K20K-O3	++	+				+	++		+									
		K20K-O4	+++	+				+++	+											
		K20K-O5	+	+																
		K20K-O7	+						++											
		K20K-O8	a					a	a						a					
		K20K-O9	++					+	+											
		K20K-O10	+	+				+												
		K20K-O11	+++	++		+														
K20H	Alacağzı	K20K-O12	++	+				+												
		K20K-O13	+++	+	+		+		+											
	Karadon	K20H-O1	a	a				a	a		a		a						a	
		K20H-O4	+	+++				+	+		+									
		K20H-O5	a	a							a		a		a					
		K20H-O7	a	a	a			a	a		a					a				
		K20H-O10	+++	++																
		K20H-O12	+	+				+++												
		K20H-O15	+++	+				++	+		+			a			a		a	
		K20H-O19	+++	++		+														
Kozlu	Alacağzı	K20H-O20	++	+	+		+													
		K20H-O21	+	+																
	Kozlu	K20H-O22	+++	+++		+		+												
		K20H-O25	++	+				+												
		K20H-O26	+	++																
		K20H-O27	+	++				+++	+++		+									
		K20H-O28	+	+																
		K20H-O30	++	+				+	+		+									
		K20H-O32	+++	++																
		K20H-O33	+++	++		+		+++												
Alacağzı	K20H-O34	+	+		+															
	K20H-O39	+	a					+		a				a		a			a	
	K20H-O40	++	+		+			++												
	K20H-O41	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a			a	a				a	



Şekil 8- Seçilmiş SEM geri saçılan elektron (SEM-BSE) görüntüleri; a), b) ve d) kaolinitik (Kln) matris içinde ankerit (Ank), kalsit (Cal), klorit (Chl), kalkopirit (Ccp), dolomit (Dol), kuvars (Qz) ve zirkon (Zr) taneleri, c) sferit (Sd) yumruları ve kuvars (Qz) taneleri ile beraber bulunan klorit (Chl), e) kil minerali (CM) yığılması içerisindeki monazit (Mnz) ve kuvars (Qz) taneleri ile organik madde (OM), f) İllitik (Illt) matris içindeki apatit (Ap), kalkopirit (Ccp), kuvars (Qz) ve titanit (Ttn) taneleri (Görüntülerden a, K20H-O15'ten; b ve f, K20H-O41'den; d ve e, K20H-O7'den çekilmiştir).

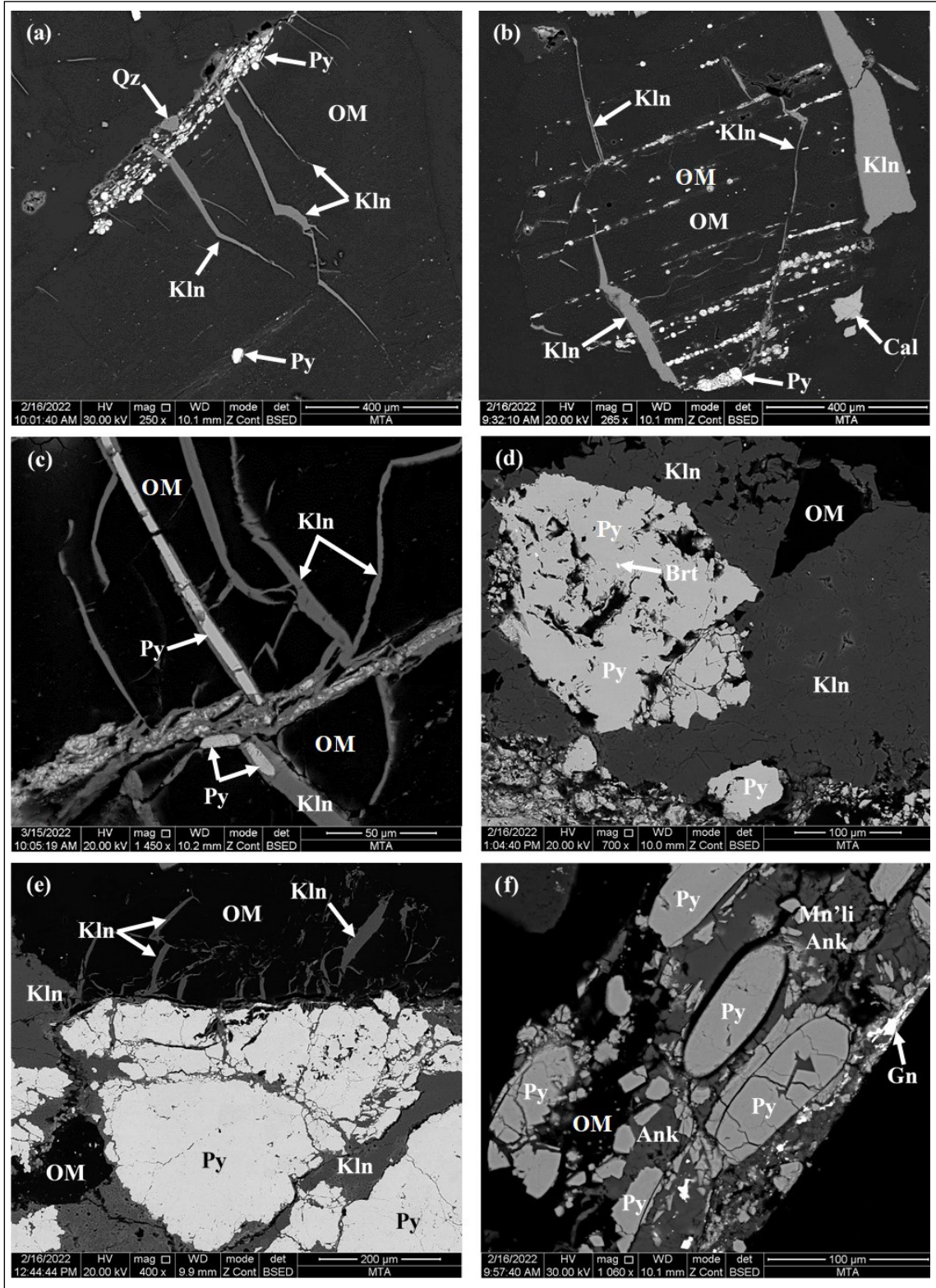
ve illitik bileşimlere sahip olduğunu göstermiştir (Şekil 8a- f ve 10a-b). Kaolinit matriksleri içindeki benzer ilişkiler, Zonguldak Havzası'ndaki incelenen kuyularda ve havzadaki diğer kömür sahalarındaki kömür damarlarında (Karayiğit vd., 2018a, b) ve ayrıca Zonguldak Havzası'ndaki Karbonifer sırasında ilksel turbalıklarda eşzamanlı ve/veya epiklastik volkanik girdilerin alterasyonundan oluşan tonstein katmanlarında da bildirilmiştir (Burger vd., 2000). Bu nedenle, incelenen kömür klast numunelerinde tanımlanan kaolinit matriksleri ve bunlarla beraber bulunan mineraller ana kömür damarları kökenlidirler. İllitik matriksler, muhtemelen ana kömür damarlarının oluştuğu ilksel turbalıklara klastik girdilerle ilişkilidir. Bununla beraber, bu matriksler, gömülü çökellerin diyajenezi sırasında klastik smektit ve/veya karışık katmanlı illit/smektit matrikslerinin illite dönüşmesinden de kaynaklanmış olabilirler. Bunun yanı sıra, bazı numunelerde kırık/çatlak kaolinit dolguları da gözlenmiştir (Şekil 9a-e). Kırık/çatlak kaolinit dolguları, monomineral dolgu olarak veya sülfat mineralleri (pirit ve galen) ile birlikte gözlendiğinden, bu dolgular Al ve Si açısından zengin hidrotermal çözeltilerin, her iki kuyudaki kömür damarlarında olduğu gibi (Karayiğit vd., 2018a), ana damarların erken kömürleşme aşamasında ya da daha fazla olasılıkla, gömülü sedimanların diyajenezi sırasında oluşmuş gibi görünmektedir.

Karbonat mineralleri, temel olarak kil minerali matriksleri içerisindeki (Şekil 8a ve 10a), yumrular (Şekil 8c ve 10b) ve özellikle deforme olmuş ve breşleşmiş vitrinit taneleri taşıyan numunelerden daha yaygın olarak kırık/çatlak dolguları (Şekil 9f ve 10c-f) olarak tanımlanmaktadır. Bu dolgular, çoğunlukla SEM-EDX tarafından saptanabilir miktarda Mg içeren kalsit, saf dolomit, (Şekil 10c-f) ve daha az oranda SEM-EDX tarafından ölçülebilir Mn içeren Fe bakımından zengin dolomit (Şekil 10e ve 10f) ve ankerittir (Şekil 9f ve 10c). Bu tür karbonat mineral dolguları, Permo-Karbonifer kömürlerinde yaygın olarak rapor edilmekte olup, çoğunlukla Ca açısından zengin hidrotermal çözeltilerin çökmesinden kaynaklanmaktadır (Dawson vd., 2012; Permana vd., 2013; Xie vd., 2019; Valentim vd., 2020). Bu gözlemler uyumlu olarak Karayiğit vd. (2018a)'de bu karbonat dolgularının, incelenen kuyulardaki fay zonları yoluyla

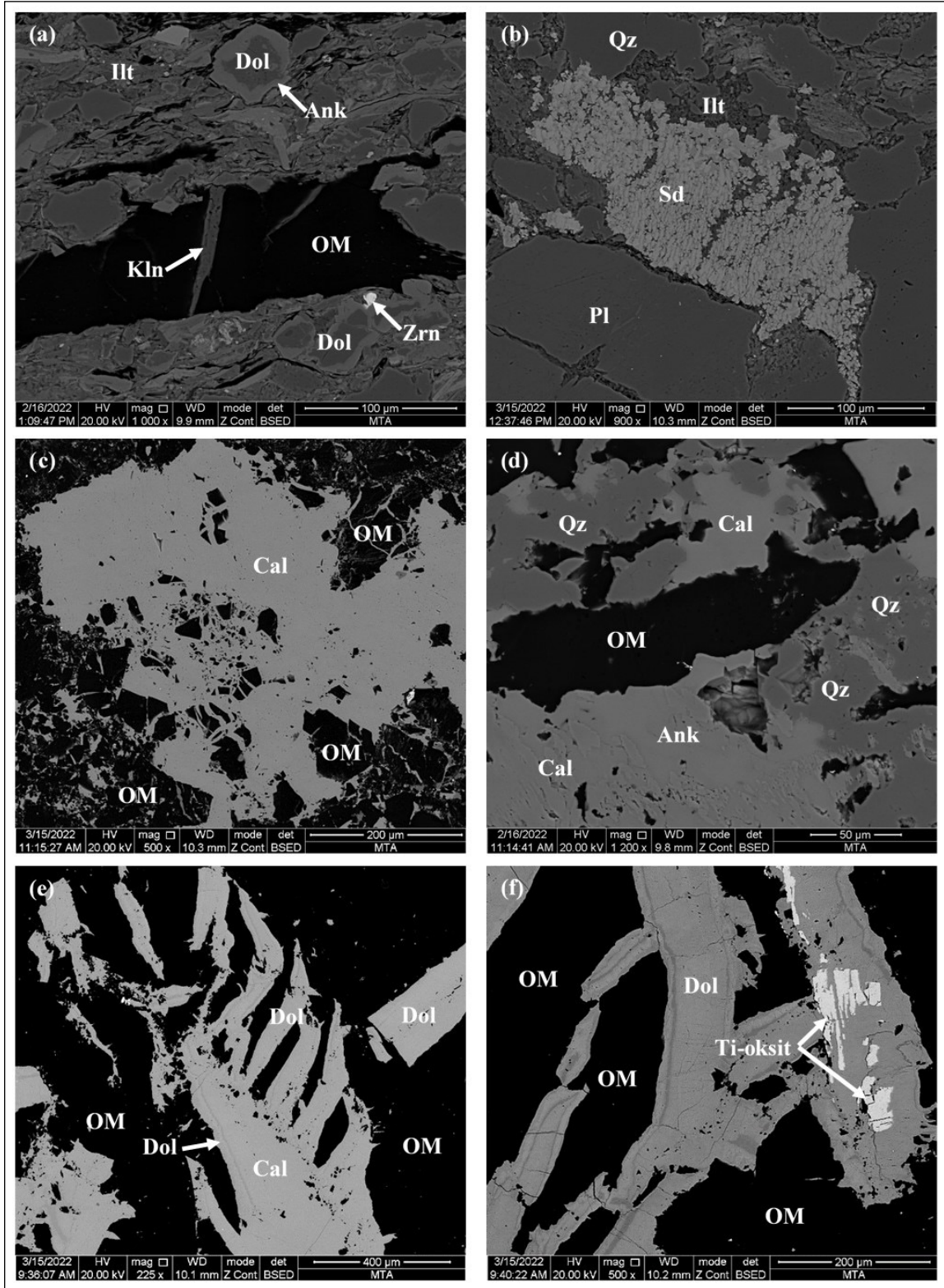
hidrotermal çözeltilerin veya üstteki Erken Kretase kireçtaşlarından sızıntı gözenek suyu penetrasyonu sonucu kömür damarlarına giren Ca açısından zengin çözeltilerin çökmesiyle ilgili olduğunu belirtmiştir. İncelenen numunelerde deforme olmuş ve breşleşmiş vitrinit taneleri arasında karbonat dolgularının varlığı göz önüne alındığında, Ca açısından zengin çözeltiler ya ana kömür damarlarının ya da içinde bulunduğu sedimanter kayaçların tektonik deformasyonundan sonra nüfuz etmiş olduğu düşünülebilir. Bununla birlikte, klast numunelerinde karbonat dolgularının varlığı, Zonguldak Formasyonu ait numunenin içinde olduğu kireçtaşının diyajenezi sırasında Ca açısından zengin formasyonu içi çözeltilerin çökmesinden veya Karbonifer klast numunelerinin ise içinde buldukları konglomeranın karbonat çimentosunun penetrasyonundan da kaynaklanmış olabilir. Bunun yanı sıra, Karbonifer kömür klastları etrafında karbonat mineralleşmesinin olmaması nedeniyle ikinci durum muhtemelen yaygın değildir. Organik madde veya kil matriksleri içindeki birkaç numunede siderit nodülleri nadiren tespit edilmiştir (Şekil 8c ve 10b). Bu nodüller, ana kömür damarlarından kaynaklandığını ve ilksel turbalık içinde oluştuğunu işaret etmektedir (Karayiğit vd., 2017, 2018a, b; Dai vd., 2020). Kömürlerde epigenetik Ti-oksit (anataz/rutil) dolguları, çoğunlukla hidrotermal çözeltilerin çökmesiyle gelişmektedir (Zhao vd., 2018; Rodrigues vd., 2020, Liu vd., 2021). Nitekim Kozlu Formasyonu numunelerinde, kırık/çatlak Ti-oksit dolguları, karbonat mineral dolguları ile beraber gözlenmiştir (Şekil 10f ve 11). Numunelerdeki bu tarz dolgular da hidrotermal çözeltilerin çökmesiyle gelişmiş olabilir.

Organik madde içindeki framboidal pirit taneleri, ana kömür damarlarıyla açıkça ilişkilidir (Şekil 3a, 7a, 9a, 9b ve 12a). Çünkü bu framboidal pirit taneleri, ötijenik olarak ilksel turbalıklar içinde veya ana kömür damarlarının erken diyajenezinde oluşmuştur. Kömürleşme sırasında nüfuz etmiş hidrotermal çözeltilerden Fe ve sülfat açısından zengin çözeltilerin kırık/çatlaklarda çökmesiyle oluşan pirit dolguları da Zonguldak havzasındaki kömür damarlarında yaygın olarak rapor edilmektedir (Karayiğit vd., 1998, 2018a, b). Benzer şekilde penetre etmiş hidrotermal çözeltilerin çökmesiyle ilişkili kırık/çatlak pirit

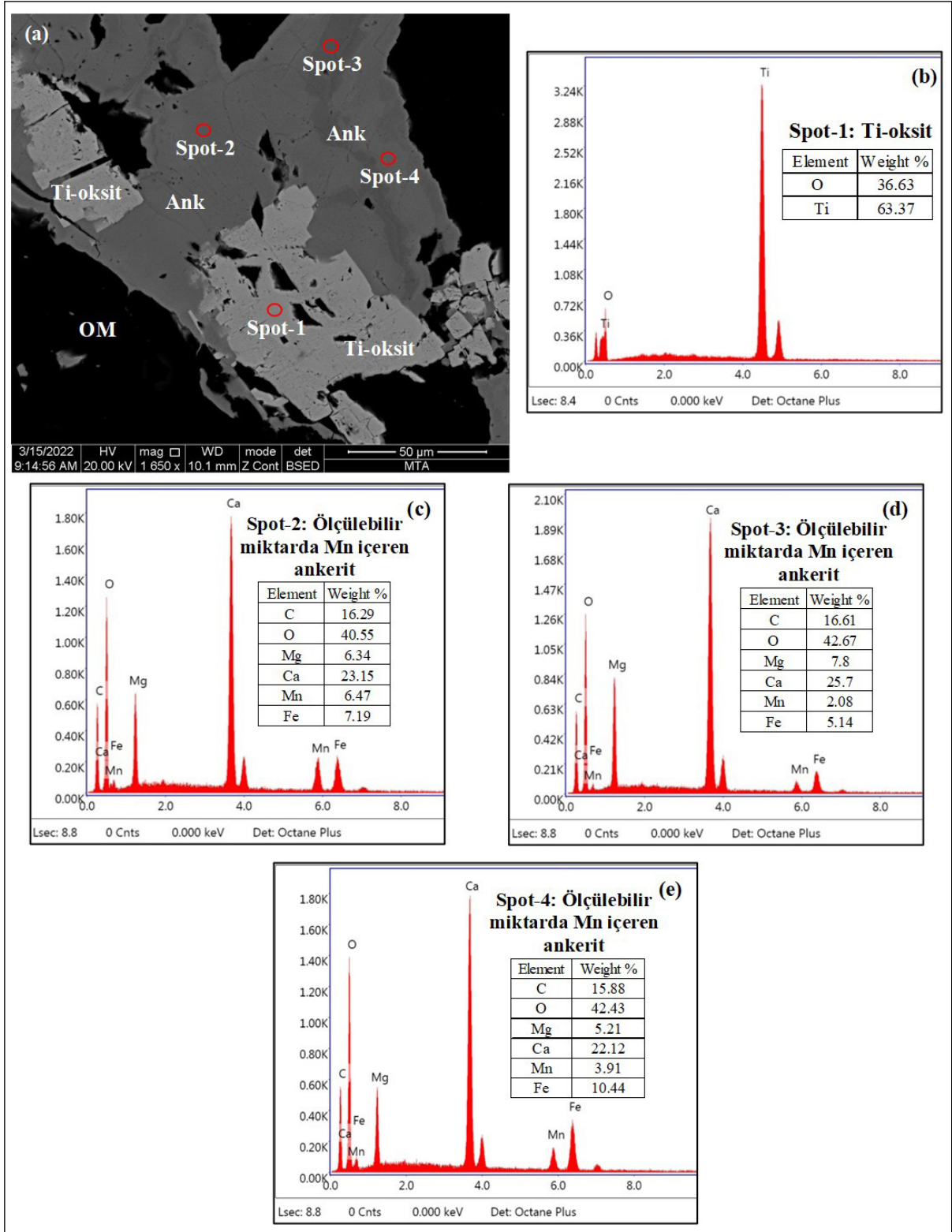




Şekil 9- Seçilmiş SEM-BSE görüntüleri; a), b) organik madde (OM) içindeki kırık/çatlak kaolinit (Kln) dolguları ile sinjenetik framboidal pirit (Py) taneleri ve kalsit (Cal) taneleri, c) organik madde (OM) içindeki kırık/çatlak kaolinit (Kln) ve pirit (Py) dolguları, d) ve f) organik madde (OM) içindeki kırık/çatlak barit (Brt), pirit (Py) ve kaolinit (Kln) dolguları, e) organik madde (OM) içindeki kırık/çatlak galen (Gn), pirit (Py) ve ölçülebilir Mn içeren ankerit (Ank) dolguları (Görüntülerden a, b, e, K20H-O1'den; c, K20H-O7'den; d ve f, K20H-O15'ten çekilmiştir).



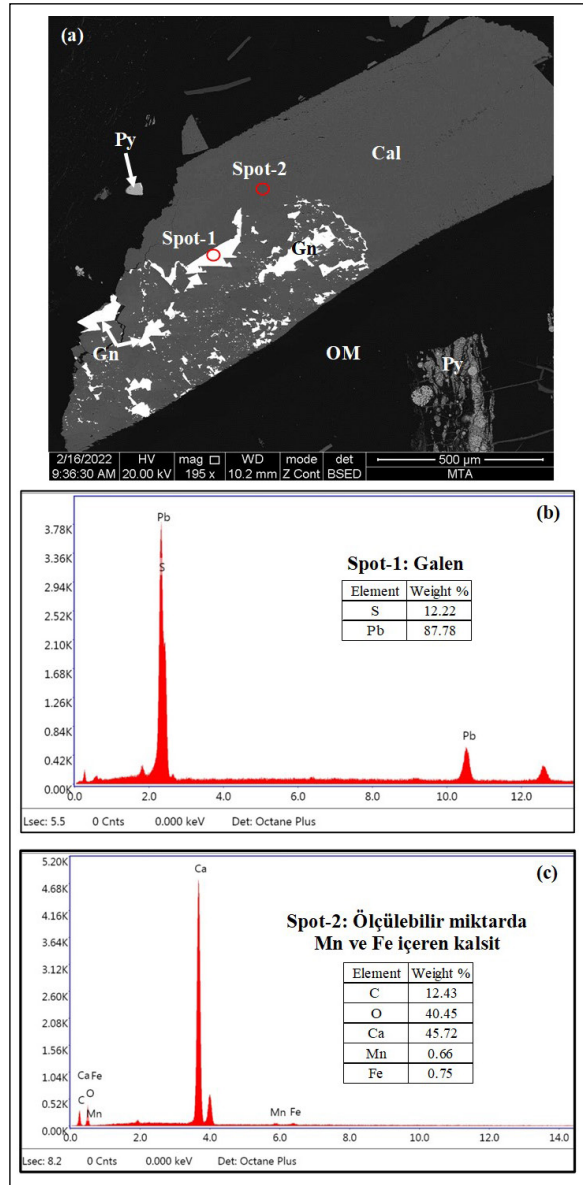
Şekil 10- Seçilmiş SEM-BSE görüntüleri; a) illitik (Ilt) matris içindeki ankerit (Ank), dolomit (Dol) ve zirkon taneleri ile organik madde (OM) içindeki kırık/çatlak kaolinit (Kln) dolgusu, b) siderit (Sd) nodülü ile illitik (Ilt) matris içindeki kuvars (Qz) ve plajiyoklaz (Pl), c), d) organik madde (OM) içindeki kırık/çatlak ankerit (Ank), kalsit (Cal) ve kuvars/silika (Qz) dolguları, e) ve f) organik madde (OM) içindeki kırık/çatlak kalsit (Cal), dolomit (Dol) ve Ti-oksit dolguları (Görüntülerden a ve c, K20H-O15'ten; b, K20H-O41'den; d, K20H-O7'den; e ve f K20K-O8'den çekilmiştir).



Şekil 11- a) Organik madde (OM) içindeki kırık/çatlak ankerit (Ank) ve Ti-oksit dolgularının SEM-BSE görüntüsü, b) nokta-1'deki Ti-oksitin SEM-EDX spektrumları ve c), d) nokta-2'de ölçülebilir Mn içeren ankerit (Görüntü, K20K-O8'den çekilmiştir).

dolguları, kaolinit ve karbonat mineralleri gibi, Karbonifer kömür klastlarında da gözlenmiştir (Şekil 9c-f). Bu tür çözeltilerin penetrasyon zamanlamasının belirlenmesi doğru bir şekilde tahmin edilemese de, bu pirit dolgularının büyük olasılıkla kömür klastlarının içinde bulunduğu sedimanter kayaçların diyajenezi sırasında ve daha az oranda ana kömür damarlarının erken kömürleşmesi sırasında oluştuğu tahmin edilmektedir. Erken Apsiyen kömür klast numunesinde makroskobik olarak tanımlanmış kırık/çatlak pirit dolgularının varlığı göz önüne alındığında, bu numunedeki piritleşmiş maseraller ve kırık/çatlak pirit dolgularının Erken Apsiyen ve/veya Apsiyen sonrası çökeltme ortamında gelişmiş olduğu görülmektedir. Kırık/çatlak pirit dolguları ve framboidal pirit tanelerinin yanı sıra, galen ve kalkopirit numunelerde tanımlanan diğer sülfat mineralleridir. Galen sadece kırık/çatlak dolgusu olarak gözlenmiştir ve bu tür dolgulara genellikle karbonat mineralleri (Şekil 9f ve 12) ve kaolinit (Şekil 13) eşlik etmektedir. Kalkopiritin yalnızca kil mineral matriksleri içinde taneler olarak gözlenmiş olması (Şekil 8a ve f), bu taneler için klastik kökeni işaret etmektedir. Barit (Şekil 9d) ve anglezit (Şekil 14) de sadece kırık/çatlak dolgusu olarak tespit edilmiştir. Barit, ana kömür damarlarının erken kömürleşmesi ve/veya içinde bulunduğu sedimanter kayaçların diyajenezi sırasında oluşmuş gibi görünmektedir. Galen dolgularının etrafındaki anglezit büyümeleri galen oluşumundan sonra gelişen gözenek suları veya hidrotermal çözeltiler tarafından galenin bozulması sonucunda oluşmuştur.

Numunelerde tek mineralli kırık/çatlak dolguları (örn. Şekil 9a, 9b ve 10c) yaygın olarak görülse de incelenen kuyularda kömür damarları gibi çok mineralli (örn. karbonat-sülfat mineralleri veya kaolinit-sülfat mineralleri) dolguları da tespit edilmiştir (örn. Şekil 9c-f, 10d-f, 11a ve 13). Bu tür çok mineralli mineral dolgular da kömürdeki hidrotermal çözeltilerin çökmesinden oluşabilmektedir (Hower vd., 2001; Dawson vd., 2012; Permana vd., 2013; Karayığıt vd., 2018a; Liu vd., 2021). Bu nedenle bu tarz dolgular, özellikle Zonguldak Formasyonu'ndan alınan kömür klast numunesi için, esas olarak ana kömür damarları içindeki çökeltme ve/veya içinde

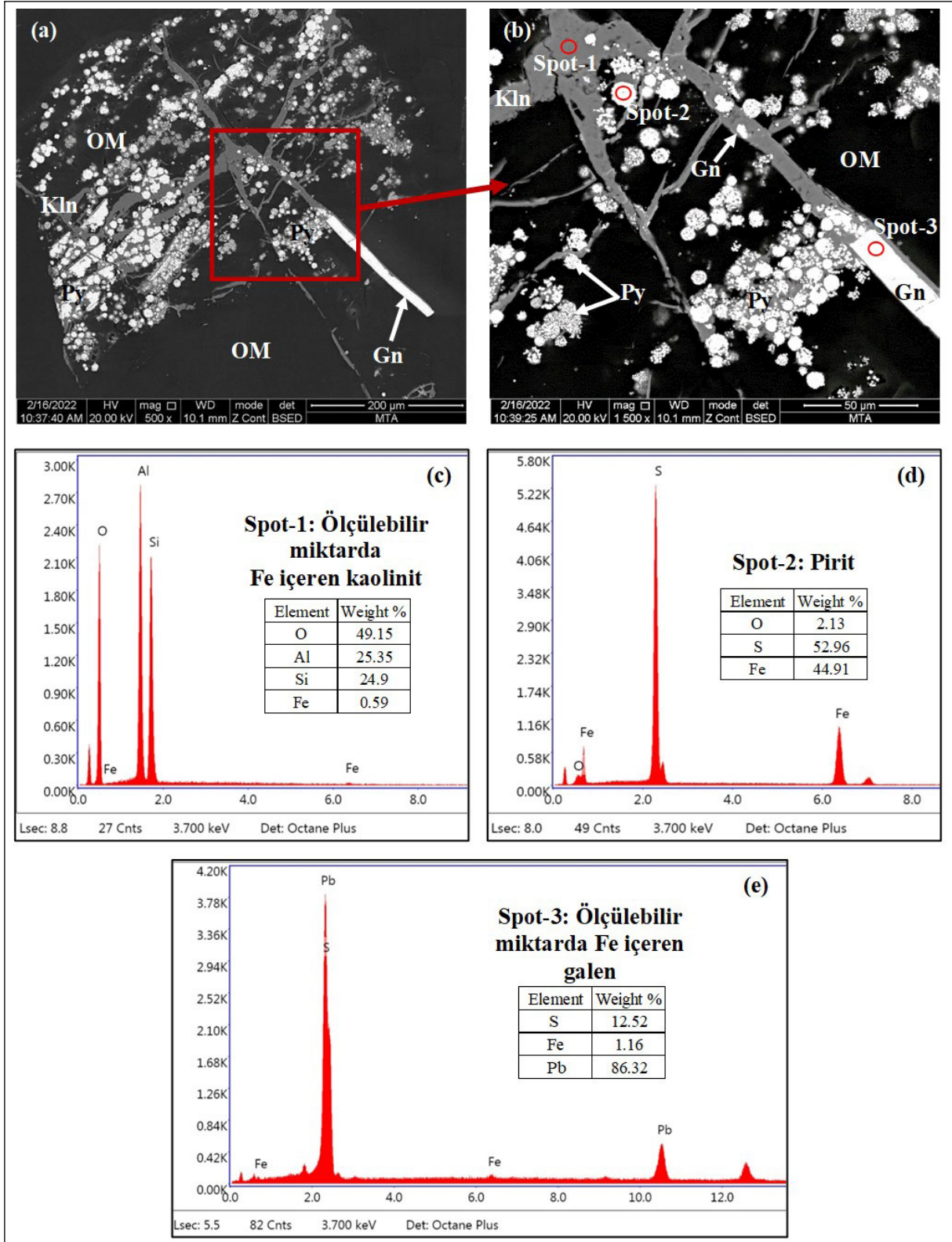


Şekil 12- a) Organik madde (OM) içindeki kırık/çatlak kalsit (Cal) ve galen (Gn) dolguları ve piritin (Py) SEM-BSE görüntüsü, b) nokta-1'deki galenin SEM-EDX spektrumu ve c) görüntü a'da ölçülebilir Mn ve Fe içeren kalsit (Görüntü K20H-O1'den çekilmiştir).

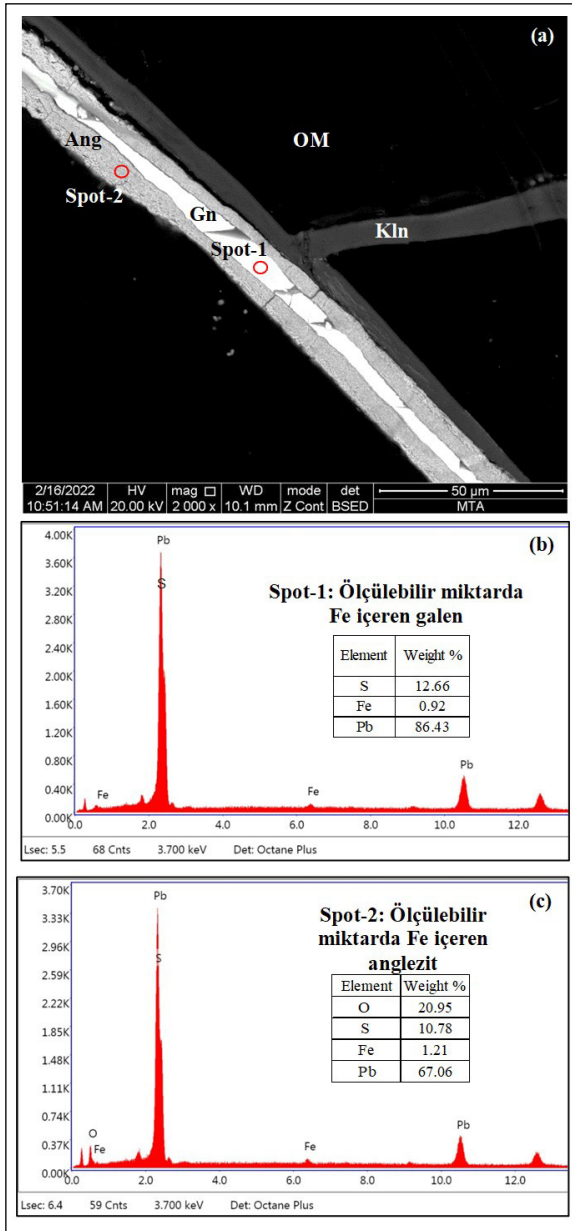
bulduğu sedimanter kayaçların diyajenezi sırasında oluşmuşlardır.

## 5.2. Kömür Klastlarının Kömürleşme Derecesi ve Kökenleri

Kömür damarlarının kalitelerine yönelik kömürleşme derecelerinin belirlenmesi, çeşitli parametrelerin (örn. %Rr, üst ısıl değer, karbon içeriği) kombinasyonuna dayanmaktadır. Ancak, araştırılan kömür klastı tanelerinin miktarları, kömür



Şekil 13- a), b) Organik madde (OM) içerisinde kırık/çatlak kaolinit (Kln) ve galen (Gln) dolgularının ve organik madde (OM) içindeki sinjenetik framboidal pirit (Py) tanelerinin SEM-BSE görüntüsü, b) nokta-1'de ölçülebilir Fe'ye sahip kaolinitin SEM-EDX spektrumu nokta-2'de c) framboidal pirit tanelerinin SEM-EDX spektrumu ve d) nokta-2'de görüntü b'de ölçülebilir Fe'ye sahip galenin SEM-EDX spektrumu (Görüntü, K20H-O1'den çekilmiştir).

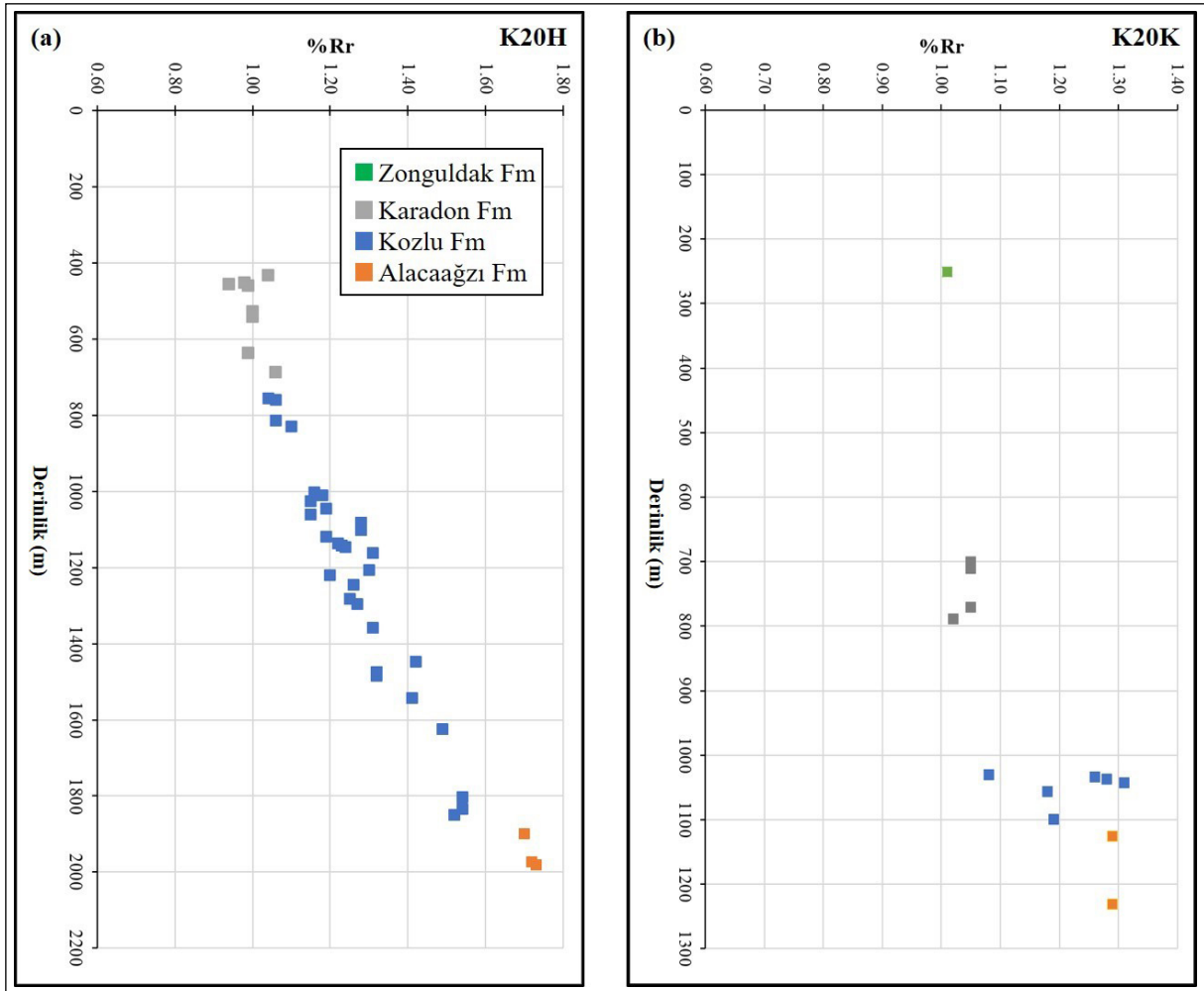


Şekil 14- Organik madde (OM) içindeki kırık/çatlak kaolinit (Kln), galen (Gn) ve anglezit (Ang) dolgularının SEM-BSE görüntüsü; a) nokta-1'de ölçülebilir Fe'ye sahip galenin SEM-EDX spektrumu ve b) görüntü a'da ölçülebilir Fe'ye sahip anglezitin SEM-EDX spektrumu (Görüntü, K20H-O1'den çekilmiştir).

kalitesi ve kömürleşme derecelerinin belirlenmesi için gerekli kaba kimyasal, elementer ve ısıl değer analizlerine uygun oranda değildir. Bundan dolayı, incelenen numunelerin kömürleşme derecesi sadece vitrinitlerin %Rr değerlerine dayanmaktadır. Kömür klastlarının %Rr değerleri, kömür klastlarının kökenini belirlemede çok yararlı olabilir, çünkü kömür klastları genellikle ana kömür damarlarıyla

diyajenetik farklılıklar göstermemektedir (Gayer vd., 1996; Kožušníková vd., 1999; Daněk vd., 2002; Pešek ve Sýkorová, 2006; Misz-Kennan vd., 2019). Bununla beraber bazı durumlarda, kömür klastlarının ana kömür damarlarından daha düşük bir kömürleşme derecesi sunabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. K20H kuyusundan alınan numunelerin kömürleşme dereceleri, ISO 11760 (2005) sınıflandırmasına göre bitümlü A (orta derece A) iken, K20K kuyusundan alınan numuneler bitümlü B'dir (orta derece B). Alacaağzı Formasyonu kömür klastlarının %Rr değerleri, daha önce de belirttiği gibi K20H ve K20K kuyularında farklılıklar göstermektedir (Çizelge 2 ve Şekil 15). K20H kuyusundaki Alacaağzı Formasyonu, K20K kuyusundan daha derinde kesildiği için (Şekil 1d ve 15a) K20H kuyusundaki Alacaağzı Formasyonu'ndaki kömür damarlarının daha yüksek %Rr değerleri, K20K kuyusuna göre normal olduğu açıklanmıştır (Karayığit vd., 2018a). Bununla birlikte, K20K'daki Alacaağzı Formasyonu kömür klastları numunelerinin %Rr değerleri, bu kuyudaki diğer kömür damarlarından nispeten yüksektir (Çizelge 1 ve Şekil 15b) ve Alacaağzı Formasyonu'ndaki kömür damarlarının %Rmax değerlerine yakındır (Çizelge 4). Klast numunelerinde çatlak ve fisürler içeren vitrinit taneleri ve oksitlenmiş vitrinit taneleri gözlemlendiğinde, %Rr'deki farklılıkların klast numunelerinin taşınması sırasındaki oksitlenme ile kontrol edilmiş olabilir. Tüm bu veriler, ana kömür damarlarındaki erozyonun, turba aşamasında ve/veya kömürleşmenin erken aşamalarında meydana geldiği ve kömür klast numunelerinin taşınmasının kısa bir mesafede gerçekleştiği, kömür klastlarının oksitlenmesinin sınırlı olduğu anlamına gelmektedir.

K20K kuyusunun aksine (%1,29±0,03), Alacaağzı Formasyonu'nda K20H'deki kömür klastlarının %Rr değerleri (%1,70-1,73±0,03) bu kuyuda kesilen Alacaağzı Formasyonu'na ait kömür damarlarından (%1,48-1,52) biraz daha yüksektir (Çizelge 4 ve Şekil 15a). Bu farklılık, klastların taşınması sırasındaki oksitlenme ile ilişkili olabilir. Ancak bu görüş, iki kömür damarı arasındaki kumtaşından elde edilen K20H-O39 numunesi için geçerli olabilirken, bu kuyuda Alacaağzı Formasyonu'na ait kömür damarlarının altındaki konglomera ve kumtaşı tabakalarından elde edilen numune için geçerli



Şekil 15- Kömür klastları ve kömür numunelerinde ölçülen ve hesaplanan %Rr'nin derinliğe göre a) K20H ve b) K20K kuyusundaki düşey değişimleri (%Rr kömür numunesi verileri, Karayığit vd., 2018a'dan alınmıştır).

olmayabilir. Çünkü bu numunelerin gömülme derinliğinden dolayı %Rr değerleri artabilir. Diğer taraftan, bu klastların derinlik değerlerini (yüzeyden 1900-1981 m) kullanılarak teorik olarak hesaplanan %Rr değerleri (%1,48-1,52 %Rr) üstteki kömür damarlarına yakındır (Şekil 15a). Bu nedenle, bu klast numunelerinin kömürleşmesi üzerinde gömülme derinliği etkisi sınırlı olabilir. Ayrıca bu numunelerde deforme olmuş ve breşleşmiş vitrinit taneleri sıklıkla tanımlanmıştır (Şekil 6e, 6f ve 7e). Zonguldak Havzası'ndaki kömürlü formasyonlardan elde edilen önceki palinolojik ve paleobotanik veriler, Karbonifer döneminde nemli ve mevsimsel kuru iklim koşullarının gelişmiş olabileceğini işaret etmektedir (Akgün ve Akyol, 1992; Opluştıl vd., 2018). Bu tür koşullar altında turba yüzeyinin stabilitesi, turba yüzeyinin tekrardan ıslanması nedeniyle etkilenebilir. Bunun sonucunda

turbalıklarda kütle hareketleri gerçekleşebilir ve bazı klastlar turbalıklardaki bu kütle hareketleri sırasında oluşabilmektedir (Tallis, 1985; Daniels vd., 2008; Hower vd., 2021). Alacaagzi Formasyonu'ndaki kömür klastı numunelerinde oksitlenmiş vitrinit tanelerinin varlığı, mevsimsel kuru iklimin varlığını da işaret edebilir. Bununla birlikte, kömürleşme sonrası tektonik deformasyon ise breşik vitrinit tanelerinin oluşmasına ve epijenetik mineralizasyonun gelişmesine takiben, kömür damarlarının %Rr değerlerinin yükselmesine neden olabilir (Hower ve Davis, 1981; Hower vd., 2001; Hower ve Gayer, 2002). Bu durum vitrinit taneleri üzerinde mikro çatlakların oluşmasına neden olabilmektedir. Benzer varsayımlar, incelenen kuyulardaki Karbonifer kömür damarları ve kömürleşme sırasında hidrotermal çözeltilerin penetrasyonu nedeniyle oluşan tekli

veya çoklu mineralli kırık/çatlak dolguları için de yapılmıştır (Karayığit vd., 2018a). K20H kuyusundaki Alacağzı kömür klast numunelerinde breşik vitrinit taneleri ve karbonat mineral dolguları (örn. saf kalsit ve Fe bakımından zengin dolomit/ankerit ve ankerit) yaygın olarak gözlenildiğinden, bu kömür klastlarının %Rr değerlerinin tektonik deformasyon ve Ca açısından zengin hidrotermal çözeltilerin çökmesini takiben arttığı görülmektedir. Bunun yanı sıra, Barker ve Pawlewicz'in (1994) formülü ( $T_{peak} = (\ln VRr\% + 1,19) / 0,00782$ ) kullanılarak K20H kuyusunda Alacağzı Formasyonu'ndaki kömür damarları için hesaplanan  $T_{peak}$  sıcaklık değerleri 202 ile 204 °C arasında değişmektedir (Karayığit vd., 2018a). K20H'deki bu formasyondan alınan kömür klastı numuneleri için 220°C civarında bir sıcaklık hesaplanmış olup bu veri de hidrotermal çözeltilerin kömür damarlarında olduğu gibi gömülü sedimantlara da nüfuz edebildiğini göstermektedir. Tüm bunlar, ana kömür damarlarının aşınmasının yine turbalaşmanın geç evrelerinde ve/veya erken kömürleşme sırasında meydana geldiğini göstermektedir. Ayrıca, K20H kuyusunda Alacağzı Formasyonu kömür damarlarının altındaki kömür klastları, bu kuyudaki kömür damarlarına benzer bir kömürleşme modeline sahiptir ve hidrotermal çözeltilerin penetrasyonu sonucu bu klastların kömürleşmesi biraz daha artırmıştır. Sonuçta, K20H kuyusundan alınan Alacağzı Formasyonu kömür klast numuneleri, incelenen kuyularda çalışılan diğer kömür klastlarına ve kömür damarlarına nispeten daha yüksek bir kömürleşme derecesi göstermektedir. Akgün vd. (1997) tarafından Alacağzı Formasyonu içindeki kömür klastlarında palinolojik veriler rapor edilmemesine rağmen, bu

formasyondaki kömür klastlarının gözlenen maseral bileşimi, Alacağzı Formasyonu'ndaki kömür damarlarına benzemektedir. Bu formasyondaki kömür klastlarının %Rr değerleri (%1,70-1,73±0,03), kömür damarlarının %Rmax değerleri (%1,63-1,65±0,05) birlikte değerlendirildiğinde Alacağzı Formasyonu'ndaki kömür klastı numunelerinin bu formasyondaki kömür damarlarından kaynaklanmış olabileceğini göstermektedir.

Kozlu Formasyonu kömür klast numunelerinin %Rr değerleri (K20K için %1,08-1,31 ve K20H için %1,04-1,54) yine her iki kuyuda birbirinden farklılık göstermektedir (Çizelge 2 ve Şekil 15), ve %Rr değerleri K20H numuneleri formasyonun alt kesimlerine doğru artmaktadır (Şekil 15). Buna karşılık, Kozlu Formasyonunun bu kuyudaki klast numunelerinin kömürleşme dereceleri, ISO 11750'ye (2005) göre bitümlü B'den (orta derece B) bitümlü A (orta derece A) kadar değişmektedir. K20K kuyusundaki Kozlu Formasyonu kömür klastlarının %Rr değerleri bitümlü B (orta derece B) ifade etmektedir. Her iki kuyunun bu formasyona ait kömür klast numunelerinin %Rr değerleri, formasyonun kömür damarlarının %Rr değerlerinden nispeten düşüktür (Çizelge 4 ve Şekil 15b). Alacağzı Formasyonu'nda olduğu gibi breşleşmiş vitrinit ve karbonat mineral dolgularının varlığı dikkate alındığında, nispeten yüksek %Rr değerleri tektonik deformasyon ve/veya hidrotermal çözeltilerin etkisiyle ilgili olabilmektedir. Bununla birlikte, kömür klastı numunelerinin %Rr değerleri genel olarak Kozlu Formasyonu kömür damarlarının %Rr değerlerinin (K20K için 0,99-1,08%±0,05 ve K20H için 0,97-1,46%±0,06) standart sapması aralığındadır ve bu damarların %Rmax değerleri

Çizelge 4- Çalışılan kuyulardaki kömür klast numunelerinin ve kömür damarlarının yüzde rastgele vitrinit yansıtma değerlerinin (%Rr) ve çalışılan kuyularda kömür damarlarında vitrinitte ölçülen %Rmax değerlerinin ortalama ve standart sapmaları (a: Karayığit vd., 2018a'dan) (Kısaltmalar: Stdv: Standart sapma).

Kuyular	Formasyon	Kömür klastı %Rr ±Stdv	Kömür damarı %Rr ±Stdv	Kömür damarı %Rmax ±Stdv
K20K	Zonguldak	1,01±0,02	-	-
	Karadon	1,02-1,05±0,02	0,78-1,01±0,04	0,82-1,10±0,03
	Kozlu	1,08-1,31±0,03	0,99-1,08±0,05	1,04-1,13±0,03
	Alacağzı	1,29±0,03	1,18-1,28±0,07	1,22-1,35±0,03
K20H	Karadon	0,94-1,06±0,02	0,87±0,04	0,92±0,04
	Kozlu	1,04-1,54±0,03	0,97-1,46±0,06	1,00-1,57±0,07
	Alacağzı	1,70-1,73±0,03	1,48-1,52±0,11	1,63-1,65±0,05



kömür klast numunelerine yakındır (Çizelge 4). Buna ek olarak, kömür klastından hesaplanan  $T_{peak}$  değerleri 157 ile 207°C arasında olup, her iki kuyuda da Kozlu Formasyonu'ndaki kömür damarlarının  $T_{peak}$  değerleri (148-201°C) aralığındadır (Karayığit vd., 2018a). Bu nedenle, tektonik deformasyonun ve/veya hidrotermal çözeltilerin kömür klastlarının kömürleşme derecesine etkisi sınırlıdır ve bu formasyondaki kömür klastları, geç turbalaşma aşamasından ve/veya bu damarların erken kömürleşmesinden sonra yine ana kömür damarlarından kısa bir mesafeye taşınmış gibi görünmektedir. Kozlu Formasyonu numunelerinde mikro çatlaklar ve fisürler içeren vitrinit taneleri ve altere liptinit maserallerinin (Şekil 5) varlığı, bu formasyondaki kömür damarlarından nispeten daha yüksek %Rr değerlerini açıklayabilmektedir. Kömür damarlarında ve kömür klastlarında bu tarz oksitlenmiş maseraller, genellikle kömür içeren istiflerin yüzey oksidasyonuna maruz kalması ve/veya kömür klastlarının taşınması sırasında oksitlenmesi nedeniyle gelişebilmektedir (Gayer vd., 1996; Daněk vd., 2002; Pešek ve Sikorová, 2006; Kus vd., 2017). Alacağzı Formasyonu'ndaki kömür klast numunelerinde olduğu gibi Kozlu Formasyonu'ndaki kömür klast numunelerinin palinolojik verileri, incelenen kuyulardan Akgün vd. (1997) tarafından rapor edilmemiştir. Ancak kömür klastları ve bu formasyon içerisindeki kömür damarlarında gözlenen maseral bileşimi, benzer %Rr değerleri ve bu formasyondaki kömür damarlarının %Rmax değerleri (K20K için %1,04-1,13 ve K20H için %1,00-1,57), kömür klastlarının muhtemelen Kozlu Formasyonu'ndaki kömür damarlarından kaynaklandığını göstermektedir.

İncelenen iki kuyuda Karadon Formasyonu'na ait kömür klastlarının ISO sınıflandırmasına göre kömürleşme dereceleri bitümlü B'dir (orta derece B). K20K kuyusu kömür klastı numunelerinin %Rr değerleri (%1,02-1,05±0,02), bu formasyondaki kömür damarlarında ise %0,78-1,01±0,04 aralığındadır (Çizelge 2 ve 4). Ayrıca bu damarlara ait %Rmax değerleri (%0,82-1,10±0,03) kömür klastlarının %Rr değerlerine yakındır (Çizelge 4 ve Şekil 15). K20H kuyusunda bu formasyon içerisinde sadece bir kömür damarı kesilmiş olmasına rağmen, kömür klastlarının %Rr değerleri (%0,94-1,06±0,02) bu damarın %Rr değerlerinden nispeten daha yüksektir.

Ayrıca bu damara ait %Rmax değeri (%0,92±0,04), %Rr değerlerine yakındır (Çizelge 4). Bu fark yine kömür klast numunelerinde mikro çatlaklar ve fisürler içeren vitrinit taneleri gözlemlendiğinden dolayı taşınım sırasındaki oksitlenme ile ilgili olabilmektedir. Bununla birlikte, bu formasyondaki kömür klastlarından hesaplanan  $T_{peak}$  değerleri (144-160°C) kömür damarlarının (120-153°C) değer aralıklarına yakındır. Dolayısıyla, Karadon Formasyonu'ndaki kömür klastları, diğer Karbonifer kömür klastları gibi, turbalaşma sırasında ilksel turbalıkların erozyonundan kaynaklanmış gibi görünmektedir. K20K kuyusunda 708,20 m'den alınan kömür klastları ve kömür klastları numunelerinden bildirilen palinolojik veriler, Akgün vd. (1997) tarafından K20H/O4 ve -O5 numuneleri ile yaklaşık olarak eşdeğer derinliklerde elde edilmiş olup bu kömür klastlarının muhtemelen Karadon Formasyonu kömür damarlarından kaynaklandığını göstermektedir. İncelenen kuyulardaki Karbonifer yaşlı formasyonların (Alacağzı, Kozlu ve Karadon) akarsu şartlarında çökeldiği ve bu formasyonlardaki kömür damarlarının tavantaşlarının genellikle kömür klastlı kumtaşı ve/veya konglomera tabakaları olduğu düşünüldüğünde, incelenen Karbonifer numuneleri, açıkça Karbonifer kömür damarlarından türediğini ve bu damarların turba oluşumundan sonraki akarsular tarafından aşındırıldığını ve daha az oranda Karbonifer sırasında turbalıklardaki kütle hareketleri nedeniyle aşınmış olabileceğini göstermektedir. Karayığit vd. (2018a) tarafından çalışılan kuyulardan elde edilen %Rr değerleri kullanılarak oluşturulan 1-B modeli, ayrıca Karbonifer sırasında erozyon olaylarının gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Bu veriler, Karbonifer kömür klastlarının ve ana kömür damarlarının genellikle benzer kömürleşme modellerine maruz kaldığını ve taşınım sırasındaki oksitlenmenin Karbonifer kömür klastı numunelerinde nispeten daha yüksek %Rr değerlerinin ölçülmesine neden olduğunu göstermektedir. Bu durum, kömür klastlarında nispeten daha yüksek  $T_{peak}$  değerlerinin hesaplanmasına da neden olmaktadır.

İncelenen K20K kuyusunda Zonguldak Formasyonu Erken Apsiyen yaşlı İnciğez klastik üyesinden alınan bir kömür klast numunesinde ölçülen %Rr değeri (%1,01±0,02), bu klast için ISO 11760 (2005) sınıflamasına göre kömürleşme derecesinin

bitümlü kömür aşamasında olduğunu göstermektedir. Dikkat edilmesi gereken husus ise, Mann vd. (1995) ve Yalçın (1995) tarafından yapılan çalışmada, Kozlu kömür sahası K20H araştırma kuyusundaki Erken Kretase çökellerinin %Rr değerlerinin %0,61-0,68 arasında olduğu belirlenmiştir. Bu değerler, K20K kuyusunda incelenen İnciğez klastik üyesinden alınan bir kömür klast numunesinden daha düşüktür. Diğer taraftan, bu klast numunesinin %Rr değeri (%1,01±0,02), Karbonifer yaşlı formasyonlara ait klast numunelerine ve kömür damarlarına oldukça benzerdir (Çizelge 4 ve Şekil 15b). Ayrıca bu klast numunesinin %Rr değerinden hesaplanan  $T_{peak}$  değeri, 153°C iken Erken Kretase çökelleri için bulunan %Rr değerlerinden (%0,61-0,68) hesaplanan  $T_{peak}$  değerleri 89-103°C arasındadır. Bu farklılık, K20K'daki Erken Apsiyen yaşlı İnciğez klastiklerinin ya havzadaki Kretase dayklarından etkilendiğini ya da bu kömür klastının Karbonifer kömür damarlarından türediğini düşündürmektedir. Her iki kuyuda da termal olarak etkilenen kömür damarlarının olmaması nedeniyle birinci olasılık mümkün görünmemektedir. Bununla birlikte, bu numune esas olarak telinit ve kollotelinitten oluşmaktadır ve breşleşmiş vitrinit taneleri arasında kırık/çatlak karbonat mineral dolguları gözlenmiştir. Ayrıca, bu breşleşmiş taneler mikro çatlaklar ve fisürler içermektedir (Şekil 3e-f). Numunedeki bu tür breşleşmiş vitrinit tanelerinin varlığı, bu parçaların ya ana kömür damarlarının kömürleşmesi sırasında deforme olduğunu ya da kömür klastının içinde bulunduğu sedimanter kayacın Karbonifer yaşlı kömür damarlarıyla aynı tektonik deformasyona maruz kaldığını düşündürmektedir (Kožušniková vd., 1999; Hower vd., 2001; Xie vd., 2019). Bununla birlikte, benzer karbonat mineral dolguları, Kentucky'nin batısındaki kömür sahalarındaki Karbonifer yaşlı denizel karbonatların içinde breşleşmiş kömür klastlarında da rapor edilmiştir (Valentim vd., 2013; 2020; Hower vd., 2021). Bahsedilen saha, Geç Karbonifer damarları ile karşılaştırıldığında Kozlu kömür sahasına göre oldukça karmaşık olup breşleşmiş klastların %Rr değerleri, yüksek sıcaklıktaki termal akışkanlardan dolayı daha yüksektir ve bu klastların kömürleşme derecesi antrasit aşamasındadır. Bu tarz bir kömürleşme derecesi için, Erken Apsiyen yaşlı İnciğez klastiklerinde incelenen kömür klast numunesinin kalıntı liptinit maseralleri ve doğal koklaşmalar

içermesi gerekmektedir. Ancak bunlar, incelenen Erken Apsiyen kömür klast numunesinde gözlenmemiştir. Buna ek olarak, Zonguldak Formasyonu esas olarak denizel karbonatlardan oluştuğu için, numunedeki kırık/çatlak karbonat dolguları, hidrotermal çözeltilerin çökmesinden ziyade, diyajenez sırasında Ca bakımından zengin formasyon içi çözeltilerin çökmesiyle de açıklanabilir. Bu nedenle, bu numunenin Erken Apsiyen yaşlı kömür klastları ve/veya ksilit parçalarının hidrotermal alterasyonu yerine, Karadon veya Kozlu formasyonlarındaki kömür damarlarının kömürleşmesinden sonra ve/veya Erken Kretase sırasında yükselme nedeniyle aşınmış olan Kozlu kömür sahasındaki Karbonifer yaşlı kömür damarlarından türemiş olması daha olasıdır.

## 6. Sonuçlar

Zonguldak Havzası Kozlu kömür sahasında açılan iki derin araştırma kuyusunda (K20H ve K20K) Karbonifer ve Erken Apsiyen yaşlı formasyonlarından alınan kömür klastı numunelerinin petrografik ve SEM-EDX incelemeleri, kömür klastlarında tanımlanan minerallerin çoğunluğunun ana kömür damarlarından kaynaklandığını, kırık/çatlak ve hücre boşluklarındaki mineral dolgularının ise esas olarak ana kömür damarlarının erken kömürleşmesi ve içinde buldukları sedimanter kayaçların diyajenezi sırasındaki oluşumlardan kaynaklandığını göstermektedir. Bununla birlikte, incelenen Karbonifer yaşlı kömür numunelerinin her iki kuyudan kesilen kömür damarlarına kıyasla nispeten daha yüksek %Rr değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. İncelenen kömür klastlarında yüzeysel oksitlenmeden kaynaklanan mikro çatlakların ve fisürlerin yaygın olarak gözlenmesinden dolayı nispeten daha yüksek %Rr değerlerinin, genellikle kömür klastlarının taşınması sırasındaki oksitlenmeyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, bozunmuş sporinit maserallerinin yaygın olarak tanımlandığı Kozlu Formasyonu'ndaki kömür klast numunelerinde oksitlenmenin daha fazla olduğu görülmektedir. Kömür klast numunelerinde deforme olmuş ve breşleşmiş vitrinit taneleri ve kırık/çatlak karbonat dolgularının varlığına rağmen, kömür klastlarının ve kömür damarlarının benzer %Rr, %Rmax ve  $T_{peak}$  değerlerine sahip olması, kömürleşme sonrası tektonik hareketlerin ve penetre eden hidrotermal çözeltilerin

bu klastların kömürleşmesi üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra klastlar ve bunların ana kömür damarları, benzer kömürleşme modellerine sahiptirler. Bu nedenle, Karbonifer yaşlı kömür klastlarının, incelenen formasyonlardaki kömür damarlarından türemiş olması gerekir. Ayrıca, kömür damarlarını üzerleyen konglomera ve kumtaşı tabakalarının varlığı, bu klastların muhtemelen akarsu sistemleri tarafından ana kömür damarlarının turba oluşumu veya erken kömürleşme aşamaları sırasında aşındırıldığını göstermektedir. Bununla birlikte, Karbonifer sırasında ilksel turbalıklardaki kütle hareketleri de kömür klastı oluşumuna neden olmuş olabilir. Breşleşmiş vitrinit taneleri, tektonik deformasyonun vitrinit oluşumu sonrası veya en azından linyit oluşumu sonrası gerçekleşmiş olabileceğini göstermektedir. Buna karşın, Erken Kretase yaşlı Zonguldak Formasyonu'ndaki kömür klast numunesi, bu formasyonda rapor edilen %Rr değerlerinden nispeten daha yüksek %Rr değerine sahiptir ve Karbonifer yaşlı formasyonlara yakın %Rr değeri, bu kömür klastının muhtemelen Zonguldak Havzasında kömürleşmeden sonra ve/veya Kretase sırasında yükselme nedeniyle aşınmış Geç Karbonifer kömür damarlarından türemiş olabileceğini göstermektedir. Bu numunedeki breşleşmiş vitrinit taneleri arasındaki kırık/çatlak karbonat mineral dolguları ise diyajenez sırasında Ca bakımından zengin çözeltilerden itibaren oluşmuş olabilir veya incelenen kuyulardaki kömür damarlarının kırık/çatlaklarında çoklu mineral dolgularının varlığına bağlı olarak ana kömür damarının kömürleşmesi sırasında oluşmuş olması daha muhtemeldir. Genel olarak incelenen tüm kömür klastı numuneleri, Kozlu kömür sahasında Karbonifer yaşlı kömür damarlarından türemişlerdir ve genellikle Orta Avrupa ile Güney Galler bölgelerindeki Karbonifer kömür klast oluşumlarına benzerlikler göstermektedirler.

### Katkı Belirtme

Bu çalışmanın bir kısmı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından YDABCAG-70 projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, makale hazırlıkları sırasında önerilerini sunan Prof. Dr. J. HOWER'a (Kentucky Üniversitesi) teşekkürlerini sunarlar.

### Değinilen Belgeler

- Ağralı, B. 1963. Etude des microspores du Namurien a Tarlağzı (Amasra, Turquie). Annales de la Société Géologique du Nord t83, 145-159 (in French).
- Ağralı, B. 1970. Étude des Microspores du basin Carbonifère d'Amasra. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 75, 28-68 (in French with Turkish abstract).
- Akgün, F., Akyol, E. 1992. Palynology and paleoecology of the coals in the Amasra-Bartın Carboniferous Basin Turkish Journal of Earth Sciences 1, 49-56 (in Turkish with English abstract).
- Akgün, F., Uzun, N., Akyol, E. 1997. Palynology. Yalçın, M. N. (Ed.). A multidisciplinary approach on Kozlu K20/H and K20/K wells. TÜBİTAK YDABCAG-70 Project Report, Ankara (in Turkish) (yayımlanmamış).
- Akyol, E. 1972. Etudes palynologiques des veines du Namurien et du Westphalien A, recoupees par les ailes sud et est d'une galerie de cote -50a Asma, Üzülmez-Zonguldak. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 83, 50-104 (in French with Turkish abstract).
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D2797/D2797M. 2011. Standard practice for preparing coal samples for microscopical analysis by reflected light. ASTM International, 5. Barker, C. E., Pawlewicz, M. J. 1994. Calculation of vitrinite reflectance from thermal histories and peak temperatures. A comparison of methods. Mukhopadhyay, P. K., Dow W. G. (Ed.). Vitrinite Reflectance as a Maturity Parameter: Applications and Limitations, ACS Symposium Series 570, Chicago, 216-229.
- Barker, C. E., Pawlewicz, M. J. 1994. Calculation of vitrinite reflectance from thermal histories and peak temperatures. A comparison of methods. Mukhopadhyay, P. K., Dow, W. G. (Eds.). Vitrinite Reflectance as a Maturity Parameter: Applications and Limitations. ACS Symposium Series volume 570. ACS Publication, Washington, 216-229.
- Bicca, M. M., Kalkreuth, W., da Silva, T. F., de Oliveira, C. H. E., Genezini, F. A. 2020. Thermal and depositional history of Early-Permian Rio Bonito Formation of southern Paraná Basin-Brazil. International Journal of Coal Geology 228, 103554.
- Burger, K., Bandelow, F. K., Bieg, G. 2000. Pyroclastic kaolin coal-tonsteins of the Upper Carboniferous of Zonguldak and Amasra, Turkey. International Journal of Coal Geology 45, 39-53.
- Cleal, C. J., Van Waveren, I. M. 2012. A reappraisal of the Carboniferous macrofloras of the Zonguldak-

- Amasra. Coal Basin, north-western Turkey. *Geologia Croatica* 65, 283-297.
- Cleal, C. J., Stolle, E., Van Waveren, I. M., King, S., Didari, V. 2017. Carboniferous plant fossils from northern Turkey in the Jongmans Collection, Naturalis, Leiden. *Paleontological Journal* 51, 770-777.
- Cleal, C. J., Stolle, E., Van Waveren, I. M., King, S., Didari, V. 2018. Macrofloral biostratigraphy of the upper Bashkirian Kozlu Formation, Zonguldak coalfield, north Turkey. Nurgaloev, D., Barclay, M., Nikolaeva, S., Silantiev, V., Zharinova, V., Vasilyeva O. (Ed.). *Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources*. Filodiritto, Bologna, 82-90.
- Dai, S., Bechtel, A., Eble, C. F., Flores, R. M., French, D., Graham, I. T., Hood, M. M., Hower, J. C., Korasidis, V. A., Moore, T. A., Püttmann, W., Wei, Q. 2020. Recognition of peat depositional environments in coal: A review. *International Journal of Coal Geology* 219, 103383.
- Daněk, V., Pešek, J., Valterová, P. 2002. Coal clasts in the Bolsovian (Westphalian C) sequence of the Kladno-Rakovník continental basin (Czech Republic): implication of the timing of maturation. *Polish Geological Institute Special Paper* 7, 63-78.
- Daniels, S. M., Agnew, C. T., Allott, T. E. H., Evans, M. G. 2008. Water table variability and runoff generation in an eroded peatland, South Pennines, UK. *Journal of Hydrology* 361, 214-226.
- Dawson, G. K. W., Golding, S. D., Esterle, J. S., Massarotto, P. 2012. Occurrence of minerals within fractures and matrix of selected Bowen and Ruhr Basin coals. *International Journal of Coal Geology* 94, 150-166.
- Dill, H. G., Kus, J., Kaufhold, S., Rammelmair, D., Techmer, A. 2017. Oligo-Miocene coal in a microtidal environment reworked under Quaternary periglacial conditions (Western Falkland Islands/ Isla Gran Malvina) coal formation and natural sand processing. *International Journal of Coal Geology* 174, 8-22.
- Dill, H. G., Kus, J., Andrei, B., Sorin-Ionut, B., Stephan, K., Borrego, A. G. 2021. Organic debris and allochthonous coal in Quaternary landforms within a periglacial setting (Longyearbyen Mining District, Norway) - A multi-disciplinary study (coal geology-geomorphology-sedimentology). *International Journal of Coal Geology* 233, 103625.
- Gayer, R. A., Pešek, J., Sýkorová, I., Valterová, P. 1996. Coal clasts in the upper Westphalian sequence of the South Wales coal basin: Implications for the timing of maturation and fracture permeability. *Geological Society Special Publication* 109, 103-120.
- Geršlová, E., Goldbach, M., Geršl, M., Skupien, P. 2016. Heat flow evolution, subsidence and erosion in Upper Silesian Coal Basin, Czech Republic. *International Journal of Coal Geology* 154-155, 30-42.
- Gürdal, G., Yalçın, M. N. 2000. Gas adsorption capacity of Carboniferous coals in the Zonguldak Basin (NW Turkey) and its controlling factors. *Fuel* 79, 1913-1924.
- Gürdal, G., Yalçın, M. N. 2001. Pore volume and surface area of the carboniferous coal from the Zonguldak Basin (NW Turkey) and their variations with rank and maceral composition. *International Journal of Coal Geology* 48, 133-144.
- Gürdal, G., Mann, U., Yalçın, M. N. 2004. Comparison of adsorption related properties of Zonguldak Basin coals (NW Turkey) obtained at two different adsorption temperatures of carbon dioxide. *Energy Source* 26, 1301-1312.
- Hower, J. C., Davis, A. 1981. Vitrinite reflectance anisotropy as a tectonic fabric element. *Geology* 9, 165-168.
- Hower, J. C., Gayer, R. A. 2002. Mechanisms of coal metamorphism: case studies from Paleozoic coalfields. *International Journal of Coal Geology* 50, 215-245.
- Hower, J. C., Williams, D. A., Eble, C. F., Sakulpitakphon, T., Moecher, D. P. 2001. Brecciated and mineralized coals in Union County, Western Kentucky coal field. *International Journal of Coal Geology* 47, 223-234.
- Hower, J. C., O'Keefe, J. M. K., Valentim, B., Guedes, A. 2021. Contrasts in maceral textures in progressive metamorphism versus near-surface hydrothermal metamorphism. *International Journal of Coal Geology* 246, 103840.
- International Committee for Coal Petrology (ICCP). 1998. The new vitrinite classification (ICCP System 1994). *Fuel* 77, 349-358.
- International Committee for Coal Petrology (ICCP). 2001. New inertinite classification (ICCP System 1994). *Fuel* 80, 459-471.
- International Organisation for Standardization (ISO) 11760. 2005. Classification of coals. International Organization for Standardization, 9.
- International Organization for Standardization (ISO) 7404-5. 2009. Methods for the Petrographic Analysis of Coal—Part 5: Method of determining microscopically the reflectance of vitrinite. International Organization for Standardization, 4.
- Izart, A., Barbarand, J., Michels, R., Privalov, V.A. 2016. Modelling of the thermal history of the Carboniferous Lorraine Coal Basin:

- Consequences for coal bed methane. *International Journal of Coal Geology* 168, 253-274.
- Karayigit, A. I. 1992. Linear relations among vitrinite reflections of coals in Zonguldak and Amasra basins. *Turkish Journal of Earth Sciences* 1, 43-48 (in Turkish with English abstract).
- Karayigit, A. I., Gayer, R. A., Demirel, I. H. 1998. Coal rank and petrography of Upper Carboniferous seams in the Amasra Coalfield Turkey. *International Journal of Coal Geology* 36, 277-294.
- Karayigit, A. I., Littke, R., Querol, X., Jones, T., Oskay, R. G., Christanis, K. 2017. The Miocene coal seams in the Soma Basin (W. Turkey): Insights from coal petrography, mineralogy and geochemistry. *International Journal of Coal Geology* 173, 110-128.
- Karayigit, A. I., Mastalerz, M., Oskay, R. G., Gayer, R. A. 2018a. Coal petrography, mineralogy, elemental compositions and palaeoenvironmental interpretation of Late Carboniferous coal seams in three wells from the Kozlu coalfield (Zonguldak Basin, NW Turkey). *International Journal of Coal Geology* 187, 54-70.
- Karayigit, A. I., Mastalerz, M., Oskay, R. G., Buzkan, İ. 2018b. Bituminous coal seams from underground mines in the Zonguldak Basin (NW Turkey): Insights from mineralogy, coal petrography, rock-eval pyrolysis, and meso- and microporosity. *International Journal of Coal Geology* 199, 91-112.
- Karayigit, A. I., Oskay, R. G., Bulut, Y., Mastalerz, M. 2020. Meso- and microporosity characteristics of Miocene lignite and subbituminous coals in the Kınık coalfield (Soma Basin, W. Turkey). *International Journal of Coal Geology* 232, 103624.
- Kerey, I. E. 1985. Facies and Tectonic Setting of the Upper Carboniferous Rocks of NW Turkey. Robertson, A. H. F., Dixon J. E. (Ed.). *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*. Geological Society of London Special Publication 17, Geological Society of London, 123-128.
- Küskü, O., Canca, N., Hoşgörmez, H., İnan, S., Yalçın, M. N. 1997. Geology. In: Yalçın, M. N. (Ed.). *A multidisciplinary approach on Kozlu-K20/H and K20/K research wells. TÜBİTAK YDABÇAG-70 Project Report, Ankara* (in Turkish) (unpublished).
- Kožušniková, A., Martinec, P., Pešek, J., Valterová, P. 1999. Coal clasts in the Carboniferous sediments of the Upper Silesian basin. *Bulletin of Geosciences* 74, 109-114.
- Kus, J., Misz-Kennan, M., International Committee for Coal and Organic Petrology. 2017. Coal weathering and laboratory (artificial) coal oxidation. *International Journal of Coal Geology* 171, 12-36.
- Liu, J., Dai, S., Song, H., Nechaev, V. P., French, D., Spiro, B. F., Graham, I. T., Hower, J. C., Shao, L., Zhao, J. 2021. Geological factors controlling variations in the mineralogical and elemental compositions of Late Permian coals from the Zhijin-Nayong Coalfield, western Guizhou, China. *International Journal of Coal Geology* 247, 103855.
- Littke, R., Horsfield, B., Leythaus, D. 1989. Hydrocarbon distribution in coals and in dispersed organic matter of different maceral compositions and maturities. *Geologische Rundschau* 78, 391-410.
- Mann, U., Hertle, M., Horsfield, B., Radke, M., Schenk, H. J., Yalçın, M. N. 1995. Petrographical, organic-geochemical and petrophysical characterization of Upper Carboniferous coals from well K20/H, Zonguldak Basin. Yalçın, M. N., Gürdal, G. (Ed.). *Zonguldak Basin Research Wells-1*. Special Publication of TÜBİTAK Marmara Research Centre, Kocaeli, 133-166.
- Martínek, K., Pešek, J., Opluštil, S. 2017. Significant hiatuses in the terrestrial Late Variscan Central and Western Bohemian basins (Late Pennsylvanian-Early Cisuralian) and their possible tectonic and climatic links. *Geologica Carpathica* 68, 269-281.
- Misz-Kennan, M., Fabiańska, M., Ciesielczuk J., Filipiak, P., Jura, D. 2019. Organic geochemistry and petrography of coal clasts deposited in Pennsylvanian sandstones (upper Silesian coal basin, Poland). 29<sup>th</sup> International Meeting on Organic Geochemistry (IMOG), 1-6 September 2019, Gothenburg, 1-2.
- Oktay, F. A. 1995. Sedimentological and petrographical properties of Carboniferous sequence drilled by K20/G well. Yalçın, M. N., Gürdal, G. (Ed.). *Zonguldak Basin Research Wells-I. TÜBİTAK-MAM Special Publications, Kocaeli*, 73-98 (in Turkish with English abstract).
- Okay, A. I., Nikishin, A. M. 2015. Tectonic evolution of the southern margin of Laurasia in the Black Sea region. *International Geology Reviews* 57, 1051-1076.
- Okay, A. I., Şengör, A. M. C., Görür, N. 1994. Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions. *Geology* 22, 267-270.
- Opluštil, S., Lojka, R., Pšenička, J., Yılmaz, Ç., Yılmaz, M. 2018. Sedimentology and stratigraphy of the Amasra coalfield (Pennsylvanian), NW Turkey – new insight from a 1 km thick section. *International Journal of Coal Geology* 195, 317-346.
- Paszkowski, M., Jachowicz, M., Michalik, M., Teller, L., Uchman, A., Urbanek, Z. 1995. Composition, age and provenance of gravel-sized clasts from the Upper Carboniferous of the Upper Silesia Coal

- Basin (Poland). *Studia Geologica Polonica* 108, 45-127.
- Petersen, H. I., Bojesen-Koefoed, J. A., Nytoft, H. P., Surlyk, F., Therkelsen, J., Vosgerau, H. 1998. Relative sea-level changes recorded by paralic liptinite-enriched coal facies cycles, Middle Jurassic Muslingeberg Formation, Hochstetter Forland, Northeast Greenland. *International Journal of Coal Geology* 36, 1-30.
- Pešek, J., Sýkorová, I. 2006. A review of the timing of coalification in the light of coal seam erosion, clastic dykes and coal clasts. *International Journal of Coal Geology* 66, 13-34.
- Permana, A. K., Ward, C.R., Li, Z., Gurba, L. W. 2013. Distribution and origin of minerals in high-rank coals of the South Walker Creek area, Bowen Basin, Australia. *International Journal of Coal Geology* 116-117, 185-207.
- Pickel, W., Kus, J., Flores, D., Kalaitzidis, S., Christanis, K., Cardott, B. J., Misz-Kennan, M., Rodrigues, S., Hentschel, A., Hamor-Vido, M., Crosdale, P., Wagner, N., ICCP. 2017. Classification of liptinite-ICCP System 1994. *International Journal of Coal Geology* 169, 40-61.
- Rodrigues, S., Esterle, J., Ward, V., Glasser, L., Maquissene, T., Etchart, E. 2020. Flow structures and mineralisation in thermally altered coal from the Moatize Basin, Mozambique. *International Journal of Coal Geology* 228, 103551.
- Suchý, V., Filip, J., Sýkorová, I., Pešek, J., Kořínková, D. 2019. Palaeo-thermal and coalification history of Permo-Carboniferous sedimentary basins of central and Western Bohemia, Czech Republic: first insights from apatite fission track analysis and vitrinite reflectance modelling. *Bulletin of Geosciences* 94, 201-219.
- Tallis, J. H. 1985. Mass movement and erosion of a southern Pennine blanket peat. *Journal of Ecology* 73, 283-315.
- Tüystüz, O., Melinte-Dobrinescu, M. C., Yılmaz, İ. Ö., Kirici, S., Švabenická, L., Skupien, P. 2016. The Kapanboğazı formation: A key unit for understanding Late Cretaceous evolution of the Pontides, N Turkey. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 441, 565-581.
- Xie, P., Hower, J. C., Liu, X. 2019. Petrographic characteristics of the brecciated coals from Panxian county, Guizhou, southwestern China. *Fuel* 243, 1-9.
- Valentim, B., Hower, J. C., O'Keefe, J. M. K., Rodrigues, S., Riberio, J., Guedes, A. 2013. Notes on the origin of altered macerals in the Ragged Edge of the Pennsylvanian (Asturian) Herrin coalbed, Western Kentucky. *International Journal of Coal Geology* 115, 24-40.
- Valentim, B., Couto, H., French, D., Golding, S. D., Guimarães, F., Guedes, A., O'Keefe, J. M. K., Raymond, A. L., Santos, C., Valian, A., Ward, C. R., Hower, J. C. 2020. Could hot fluids be the cause of natural pyrolysis at the ragged edge of Herrin coal, Millport 7 ½' quadrangle, Hopkins County, Kentucky. *International Journal of Coal Geology* 231, 103603.
- Yalçın, M. N. 1995. Contribution of the Kozlu-K20/G well to the computer-aided modelling studies in the Zonguldak Basin. Yalçın, M. N., Gürdal, G. (Ed.). *Zonguldak Basin Research Wells-I. TÜBİTAK-MAM Special Publications*, Kocaeli, 173-196 (in Turkish with English abstract).
- Yalçın, M. N., Inan, S., Gürdal, G., Mann, U., Schaefer, R. G. 2002. Carboniferous coals of the Zonguldak Basin (northwest Turkey): Implications for coalbed methane potential. *AAPG Bulletin* 86, 1305-1328.
- Yang, G., Huang, W., Zhong, J., Sun, N. 2020. Occurrence, classification and formation mechanisms of the organic-rich clasts in the upper Paleozoic coal-bearing tight sandstone, northeastern margin of the Ordos Basin, China. *Energies* 13, 2694.
- Yürüm, Y., Dilara, B., Yalçın, M. N. 2001a. Change of the structure of coals from the Kozlu K20 G borehole of Zonguldak Basin with burial depth 1. *Chemical structure. Energy Source* 23, 511-520.
- Yürüm, Y., Dilara, B., Yalçın, M. N. 2001b. Change of the structure of coals from the KozluK20 G borehole of Zonguldak Basin with burial depth 2. *Macromolecular structure. Energy Source* 23, 521-527.
- Zhang, T., Wang, R., Polyak, L., Xiao, W. 2019. Enhanced deposition of coal fragments at the Chukchi margin, western Arctic Ocean: Implications for deglacial drainage history from the Laurentide Ice Sheet. *Quaternary Science Reviews* 218, 281-292.
- Zhao, L., Ward, C. R., French, D., Graham, I. T., Dai, S., Yang, C., Xie, P., Zhang, S. 2018. Origin of a kaolinite-NH<sub>4</sub>-illite-pyrophyllite-chlorite assemblage in a marine-influenced anthracite and associated strata from the Jincheng Coalfield, Qinshui Basin, Northern China. *International Journal of Coal Geology* 185, 61-78.
- Zijlstra, G. 1952. Erosion of the Namurian during the Westphalian b-c in the Zonguldak coal field (Turkey). *Bulletin of Mineral Research and Exploration* 42-43, 121-122.