

MÜHENDİSLİK VE YER BİLİMLERİ DERGİSİ

JOURNAL OF ENGINEERING AND EARTH SCIENCE

**CİLT / VOLUME:3
SAYI / NUMBER:1**

2018 HAZİRAN / JUNE

ISSN 2536-4561

MÜHENDİSLİK VE YER BİLİMLERİ DERGİSİ JOURNAL OF ENGINEERING AND EARTH SCIENCE

Dergi Sahibi

Remzi BAŞARI

Editörler

Prof. Dr. Gürkan Özden (gurkan.ozden@deu.edu.tr)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Rifat Kahyaoğlu (rkahyaoglu@mu.edu.tr)

Yrd. Doç. Dr. Seda Durukan (seda.durukan@cbu.edu.tr)

Danışma ve Yayın Kurulu

Prof. Dr. Gürkan Özden (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Prof. Dr. Selim Altun (Ege Üniversitesi)

Prof. Dr. İsfandiyar Egeli (Uşak Üniversitesi)

Prof. Dr. Celalettin Şimşek (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Prof. Dr. Arif Şengün Kayalar (Dokuz Eylül Üniversitesi – Emekli)

Doç. Dr. Hakan Ören (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Doç. Dr. Yeliz Yükselen Aksoy (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Doç. Dr. Okan Önal (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Seda Durukan (Celal Bayar Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Hasan Fırat Pulat (İzmir Katip Çelebi Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Fatih Işık (Erzurum Atatürk Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Rifat Kahyaoğlu (Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Melayib Bilgin (Aksaray Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Devrim Erdoğan (Ege Üniversitesi)

Hakem Kurulu

Prof. Dr. Celalettin Şimşek (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Doç. Dr. Hakan Ören (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Doç. Dr. Yeliz Yükselen (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Kuruoğlu (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Öğr. Gör. Dr. Özgür Bozdağ (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Öğr. Gör. Kadir Artan

Açık Erişim Politikası

Bu dergi; bilimsel araştırmaları halka ücretsiz sunmanın bilginin dünya genelinde paylaşımını artıracak ve gelişmeye daha çok katkı sağlayacağı ilkesini benimsemiştir.

Odak ve Kapsam

Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi öncelikli olarak geoteknik mühendisliği alanındaki konular olmak üzere, mühendislik alanında deneysel, teorik (kuramsal) ve uygulama alanlarında yapılan araştırma ve çalışma sonuçlarına ait özgün makalelerin yayımlandığı hakemli bir dergidir. Dergide yayımlanan makaleler izin alınmaksızın başka bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Makalelerin bir kısmı veya tamamı dergimiz kaynak gösterilmeden kullanılamaz.

Yayın Dili

Dergi Türkçe ve İngilizce dillerinde yazılmış makaleleri yayınlamaktadır.

Yayın Sıklığı

Dergi Haziran ve Aralık aylarında olmak üzere yılda iki kez yayınlanır.

Makale Değerlendirme Süreci

Derginin odak ve kapsamına giren konularda daha önce başka bir yerde yayımlanmamış ve eş zamanlı olarak başka bir dergiye gönderilmemiş makaleler değerlendirme için kabul edilmektedir. Dergiye gönderilen makaleler ilk olarak editörler ve/veya yayın kurulu tarafından ön değerlendirmeye alınır. Ön değerlendirme sürecini geçen makaleler daha sonra yazar isim ve adresleri olmaksızın konusunda uzman hakemlere gönderilmekte ve en az iki hakem değerlendirmesinin sonuçlarına göre makalenin dergide basılıp basılmamasına karar verilmektedir. Hakem sonuçlarına göre yazarlardan düzeltme istenebilir ya da makale koşulsuz olarak ret edilebilir. Basıma kabul edilmiş makale basılmadan önce sorumlu yazara son defa kontrol edilmek üzere gönderilir. 10 gün içinde istenen düzeltmeleri dikkate alarak sorumlu yazar tarafından kontrol edilmiş ve geri gönderilmiş makaleler dergide basılır.

ISSN 2536-4561

İletişim:

<http://dergipark.gov.tr/mybd>

mybd.editor@gmail.com

jees.editor@gmail.com

Uluyol Mahallesi, Kıbrıs Şehitleri Cad., 5. Güler Sk., Banuşoğlu İş Merkezi, Kat:5, No:512, Osmangazi - Bursa

Tel: +902242117104

MÜHENDİSLİK VE YER BİLİMLERİ DERGİSİ
JOURNAL OF ENGINEERING AND EARTH SCIENCE

Cilt: 3, Sayı: 1, Yıl: 2018 – Haziran ISSN: 2536 – 4561 Volume: 3, Issue: 1, Year: 2018 – June

İçindekiler – Cotents

Makaleler – Articles	Sayfalar – Pages
1- Karakaya (Yıldızeli) Andezitik Tüflerinin Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması (Araştırma Makalesi) <i>Investigation of the Usability of Karakaya (Yıldızeli) Andesitic Tuffs as Additive in Cement Production (Research Article)</i> Abdul Vahap KORKMAZ <i>Türkçe – Turkish</i>	1 - 10
2- Çilhoroz (Çayırılı-Erzincan) Kömürlerinin Paleo-Çökelim Ortamı ve Kömürleşme Süreci Özellikleri (Araştırma Makalesi) <i>Paleo-Depositional Environment and Coalification Characteristics Of Çilhoroz (Çayırılı - Erzincan) Coals (Research Article)</i> Nazan Yalçın ERİK, Faruk AY <i>Türkçe – Turkish</i>	11 - 29

Karakaya (Yıldızeli) Andezitik Tüflerinin Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Abdul Vahap KORKMAZ

İstanbul Üniversitesi, Avcılar / İstanbul, av.korkmaz06@gmail.com

Özet

Ticari adı tras olarak bilinen doğal puzolanlar kompoze çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılırlar. Nitelikli tras yataklarına sahip ülkemiz özellikle dayanım konusundaki başarısından dolayı tras katkılı çimentoları yaygın şekilde üretmeye devam etmektedir. Çimento sanayiinde alternatif katkı talebinin her geçen gün artması ve mevcut katkı rezervlerinin giderek azalması araştırmacıları farklı tras yataklarının keşfi ve çimento sanayiine kazandırılması konusunda çalışmalara yöneltmiştir. Bu çalışmada Karakaya andezitik tüflerinin çimento üretiminde tras olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Örneklerin mekanik, fiziksel ve kimyasal testleri, malzemenin ana oksitlerin ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = \%82.25$) toplam içeriği ve puzolanik aktivitesi malzemenin çimento katkı malzemesi olarak çimento sanayiinde yüksek miktarlarda kullanılabileceğini göstermiştir. Karakaya andezitik tüflerinin düşük rutubet içermesi nedeniyle kış aylarında büyük kullanım kolaylığı sağlamak ve Portland çimentosu klinkerine %30-35 katılarak maliyetleri önemli ölçüde düşürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Karakaya, Tüf, Çimento, Tras, Katkılı Çimento.

Investigation of the Usability of Karakaya (Yıldızeli) Andesitic Tuffs as Additive in Cement Production

Abstract

The natural pozzolans, known as the commercial name trass, are used as additives in the production of composite cement. Our country, which has qualified trass beds, continues to produce trass cement widely due to its success especially in the field of resistance. As an alternative additive in the cement industry has been increasing day by day and the existing contribution reserves have gradually decreased, researchers have been working on exploring different trass beds and bringing them to the cement industry. In this study, the use of Karakaya andesitic tuffs as trass in cement production was investigated. The mechanical, physical and chemical tests of the samples showed that the total content of the main oxides ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 82.25\%$) and the pozzolan activity of the materials could be used in the cement industry in high amounts as cement additive material. Karakaya andesitic tuffs provide great ease of use during the winter months due to low moisture content and considerably reduce costs by adding 30-35% to Portland cement clinker.

Keywords: Karakaya, Tuff, Cement, Trass, Blending Cement.

1. Giriş

Çimento prosesinin ara ürünü olan Portland çimentosu klinkeri üretildikten sonra, hem çimento maliyetini düşürmek suretiyle üretimi artırmak ve hem de kullanım yerine göre değişik çimento cinsleri üretmek için klinkere belirli oranlarda katkı maddeleri katılmaya

başlanmıştır. Bu katkı maddeleri puzolanik aktiviteye sahip olan tras, uçucu kül, pomza ve yüksek fırın cürufu gibi doğal veya yapay malzemelerdir. Belirli oranlarda katkı maddeleri kullanılarak, üretilen çimentolar özelliklerinden bir şey kaybetmedikleri gibi kalitesinde de en ufak bir değişiklik meydana gelmemiştir. Hatta

puzolanik katkı çimentolar kullanım yerlerine göre, bazı üstün mekanik özellikler kazanmışlardır [Postacıoğlu vd., 1960, 1987].

Doğal puzolanlar, genellikle çimento yapısına uygun kimyasal ve mineralojik bileşimli volkanik kaynaklı maddeler veya tortul kayalardır. Bunlara tras ve pomza örnek verilebilir. Tras silisli ve alüminli mineralleri içeren volkanik bir tüftür. Tras her ne kadar doğal puzolanlar sınıfına dahil maddelerden birinin adı ise de Ülkemizde 'Tras' kelimesi ticari anlamda kullanılmaktadır. Ülkemiz puzolan açısından oldukça zengin maden yataklarına sahiptir [Binici, 2002].

Volkanik küllerin bünyesinde olduğu gibi içerisinde silis ve alümin bulunduran, söndürülmüş kireç ve su ile normal sıcaklıkta birleştiğinde, bağlayıcılık özelliği kazanan bütün maddelere genel bir isim verilerek 'Puzolan' ve bu özelliği de 'Puzolanik aktivite' denilmektedir. Puzolanik aktivite (söndürülmüş kireçle reaksiyona girerek bağlayıcılık kazanabilme özelliği) tayini iki ayrı deneysel yöntemle yapılabilir:

a) Portland çimentosuyla mukayese metodu: Portland çimentosu su, kum ve puzolanik malzeme kullanılarak oluşturulan harçların 28 günlük basınç dayanımları, içerisinde puzolan olmayan harçların 28 günlük basınç dayanımlarıyla kıyaslanır. ASTM C 618'e göre doğal puzolanlı harçların 28 günlük basınç dayanımları, puzolansız harçların 28 günlük basınç dayanımlarının en az %70'i kadar olmalıdır. Puzolan olarak uçucu kül kullanıldığında bu değer en az %75 olarak verilmektedir [Massazza, 1999].

b) Kireç kullanma metodu: Bu yöntemde puzolanik malzeme, su, kum ve sönmüş kireç kullanılarak elde edilen harçların 7 günlük basınç dayanımları kullanılmaktadır. ASTM C 618'e göre bulunan değer gerek doğal puzolanlar ve gerekse uçucu küller kullanıldığında en az 5.5 N/mm² olmalıdır. Türk Standardı (TS 25), doğal puzolanlar kullanılarak elde edilecek minimum

değeri 4 N/mm² olarak vermektedir. Türk Standartlarında uçucu kül için bu yöntem belirtilmemektedir

Aynı çimento üretiminde bir çeşit katkı kullanılabildiği gibi birden fazla katkı maddesi de kullanılabilir. Çimentolar, kullanılan katkı oranlarına ve bazen de katkı isimlerine göre de adlandırılırlar. Bazı ülke standartları Cem IV/B puzolanik katkı çimentoda %36-55 arasında kalker ve puzolanik malzemelere ve toplam katkı sınırını geçmemek kaydı ile %0-5 arasında minör ilave katkıya izin vermektedir.

Doğal puzolanik maddeleri, doğada uygun bileşimdeki mineralleri içeren kayalar, yapay puzolanları da endüstride uygulanan değişik prosesler oluşturur. Farklı puzolanik yataklarda da olsa aynı puzolanik yataklarda da olsa puzolanların esasları her zaman var olan silistir. Doğal puzolanların bünyelerindeki mevcut SiO₂ içerikleri %40'tan, %90'a kadar değişebilir. Kireç (CaO) içeriği genelde çok düşük, fakat alkaliler (Na₂O, K₂O) dikkate değer miktarda bulunurlar. Tüm puzolanlar reaksiyon kapasitelerini etkileyen ve üç sınıfa ayrılan mineral grupları içermektedir.

Aktif mineral grubu: Bunlar cam fazları (volkanik veya yapay), opal, silisli toprak ve zeolitlerden oluşur.

Atıl mineral grubu: Bunlar aktif olmayıp dolgu görevini gören kristal fazlardır.

Zararlı (istenmeyen) mineral grubu: Organik ve karbon maddeleri örnek verilebilir.

Genel olarak puzolanların mikroskobik yapıları incelendiğinde hepsinin ortak özellikleri, yüksek porozite (gözenekli) bir yapı göstermeleri ve kirece karşı aktif olmalarıdır.

1.1. Puzolanik malzemelerde fiziksel ve kimyasal özellikler

Puzolanik malzemelerin aktivitesi fiziksel özellikleri (incelik, blaine, genleşme vs.) ile çok yakından ilgilidir. Puzolanik malzemenin ince

öğütülmesi puzolanik özelliği yani aktiviteyi ve çimentonun dayanımını arttırmaktadır. Puzolanik maddeler oldukça yüksek gözenekli, sivri köşeli ve oldukça da ince tanecik yapısına sahip olup fazla miktarda su tutma yeteneğine sahiptirler. Tanecik inceliğindeki artış traslı çimentoların pris süresini önemli ölçüde düşürmektedir. Traslı çimentoların hacim genişmesi değeri aynı inceliğe sahip portland çimentosunun hacim genişmesine göre daha küçüktür. Tane inceliği arttığında hacim genişmeside az da olsa artmaktadır. Puzolanik maddelerin özgül ağırlıkları 2.3-2.8 g/cm³ arasında değişir. Portland çimentosunda ise özgül ağırlık 3.1-3.2 g/cm³ arasındadır [Heikal vd., 2000].

1.2. Puzolan katkılı çimento ve betonların genel özellikleri

Katkılı çimentolar, ince öğütüldükleri oranda kullanımları verimli hale gelmektedir. Katkılı çimentolarla hazırlanan pasta ve betonlarda mekanik sağlamlık isteniyorsa, çabuk ve zamanından önce kurumalarını önlemek gerekmektedir [Korkmaz, 2001].

1.2.1. Hidratasyon ısıtı:

Katkılı çimentoların hidratasyon ısıları, tekabül ettikleri Portland çimentoların hidratasyon ısılarından daha düşüktür. Katkı oranı %30-40 olduğunda, hidratasyon ısıtı %20 oranlarına kadar düşmektedir. Katkılı çimentolar bu özelliklerinden dolayı, büyük kütle betonlarında çok başarılı olarak kullanılmaktadır. Böylece hidratasyon ısıtıdan kaynaklanan genleşmeler oluşmadığından, kütle betonlarındaki çatlama da meydana gelmemektedir [Erdoğan vd., 1999].

1.2.2. Alkali-agrega reaksiyonu:

Çimentolarda bulunan alkali ile beton yapımında kullanılan agregalarda bulunabilen aktif silikatlar arasında meydana gelen alkali-agrega reaksiyonu sonucu betonda görülen çatlama ve

parçalanmalar katkılı çimentolar kullanılarak nispeten giderilebilmektedir [Erdoğan vd., 1999].

1.2.3. Prizlenme (katılaşma) süresi:

Katkılı çimentoların prizlenme süresi, tekabül eden Portland çimentosuna göre biraz daha uzundur. Bunun pratik uygulamada avantaj ve dezavantajları vardır [Hewlett, 1998].

1.2.4. Dayanım:

Katkılı çimentolarla yapılan betonların kısa ve orta vadeli dayanımları, tekabül eden Portland çimentoları ile yapılan betonların dayanımlarına göre daha düşük, uzun vadeli dayanımları ise kullanılan puzolanın da cinsine bağlı olarak, Portland çimentosu betonunun dayanımına göre daha yüksektir [Erdoğan vd., 1999].

1.2.5. Büzülme:

Sertleşmenin hızlı olması büzülme ve çekmeyi artırdığından, katkılı çimentolarla yapılan betonlarda büzülme ve buna bağlı olarak oluşan çatlama daha az olmaktadır. Pratikte buna rötre, neden olduğu çatlaklara da rötre çatlakları denilmektedir. Kuruma esnasında oluşan hacim küçülmesinden kaynaklanan bu durum, katkılı çimento kullanılarak hemen hemen tamamen ortadan kalkmaktadır [Erdoğan vd., 1999].

1.2.6. İşlenebilirlik:

Katkılı çimentolarla yapılan harç ve betonların işlenebilirliği, tekabül eden Portland çimento ile yapılan harç ve betonlara göre daha azdır. İşlenebilirliği arttırmak için su/çimento oranını birazcık arttırmak gerekir ki bu da bilindiği gibi dayanımı düşürmektedir [Erdoğan vd., 1999].

1.2.7. Porozite ve geçirgenlik:

Bilindiği gibi porozite ve geçirgenlik her zaman birbirine bağlı değildir. Katkılı çimentolarla

yapılan harç ve betonların porozite, geçirgenlik ve sızdırmazlıkları tekabül eden Portland çimentolarıyla yapılan betonlara göre daha düşüktür. Bu da pratikte çok büyük avantajlar sağlamaktadır. Geçirimsiz beton, her şeyden önce içinde koruduğu demir donatıyı kimyasal çözeltilere karşı rahatlıkla korur. Ayrıca dış etkenlerden kaynaklanan sıvı, gaz ve kimyasal madde sızmalarına karşı dayanıklılığı artar [Erdoğan vd., 1999].

1.2.8. Elastikiyet:

Katkılı çimentolarla üretilen betonlar, tekabül eden Portland çimentolarıyla üretilen betonlara göre daha elastiktir. Bu da betonu titreşim ve darbelere karşı daha dayanıklı hale getirir.

Kimyasal maddelere dayanıklılık: katkılı çimentolu betonlar, tekabül ettikleri Portland çimentolu betonlara göre, kimyasal maddelere karşı daha dayanıklıdır. Çünkü katkılı çimentolu betonların porozite ve geçirgenlikleri daha az yani daha sıkı betonlardır. Ayrıca betonun içinde kimyasal madde ile reaksiyona girecek metal oksidi hemen hemen kalmamıştır, kalanlar ise katkının aktif silikatlarıyla bileşik oluşturmuştur. Bu da yerine göre betonun ömrünü artırmaktadır [Hewlett, 1998].

1.2.9. Donma ve çözülme karşı dayanıklılık:

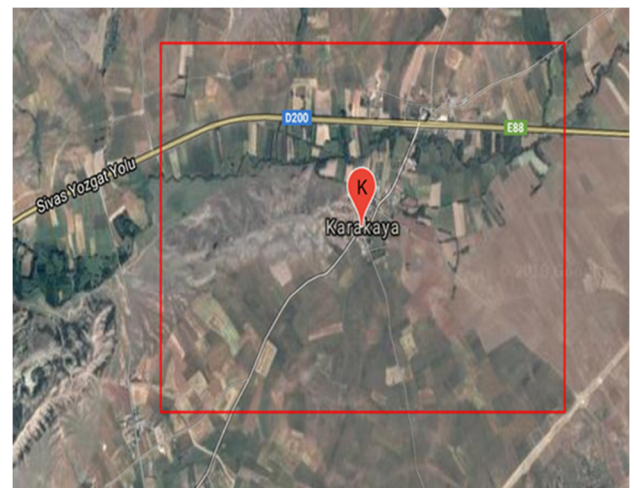
Katkılı çimentolu betonlar, tekabül eden Portland çimentolu betonlara göre, donma ve çözülme karşı daha dayanıklıdır. Çünkü beton az boşluklu ve geçirimsiz olduğundan, bünyesinde donacak ve sonra tekrar çözülecek yeterli suyu bulundurmaz.

Katkılı çimentolarla, su altı inşaatlarında başarılı betonlar dökülebilir. Serbest kireci (S.CaO) yüksek (%2'den fazla) olan klinkerlerden üretilen çimentolarda hacim genişmesi (büzülme), dolayısıyla beton çatlamlarını önlemek için, bu tür klinkerlere katkı ilave edilerek öğütülür. Bu şekilde S.CaO'in hepsi, katkıda bulunan aktif silis tarafından bağlanmış olacaktır. Aksi takdirde

betonda bulunan S.CaO suyla birleşerek kalsiyum hidroksit oluşturacak, bu da suda çok çözüldüğü için yıkanarak betondan uzaklaşacak ve sonuçta geçirimli ve boşluklu bir beton oluşacaktır. Buna benzer olarak, ne kadar ince öğütülürse öğütülün kireç standardı yüksek çimentolar, altı aylık sertleşmeden sonra ağırlığının %14'ü nispetinde serbest kireç içerirler. Serbest kirecin betona yapacağı tahribatı önlemek için, beton harcına uygun katkı ilavesi yapılmalıdır [Massazza, 1999].

2. Materyal ve Metot

Doğal puzolan örnekleri, Yıldızeli-Yozgat kara yolu üzerindeki Karakaya köyü yol kavşağından yaklaşık 5.8 km güneydeki yamaç mevkiinden alınmıştır. Çalışma yapılan bölgede; yeşilimsi gri, açık gri renkli, seyrek eklemlili, masif, ojit ve biyotit kristalleri içeren andezitik tüf katmanlarını barındırmaktadır (Mesci vd., 2002). Karakaya tras sahası ortalama 50-100 cm, yamaç eteklerinde yer yer 5 m kalınlığında, kahverenkli çakıllı kil niteliğindeki yamaç molozu ile örtülmüştür. Haritalama sırasında, araştırmaya konu olan trasların bölge litostratigrafisindeki yerleri saptanarak konumları ve sınırları belirlenerek bazı makroskobik saha özellikleri (homojenite, renk vb.) dikkate alınmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

2.1. Yöntem

Puzolan olarak kullanılan malzemelerin özgül yüzeyleri (blaine), yoğunlukları, kimyasal bileşimleri ve mineralojik yapıları puzolanik aktivite üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çalışmada kullanılan andezitik tüflerin puzolanik aktivitesine etki eden bu parametrelerin belirlenmesinde aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır. Öncelikle andezitik tüflerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Yoğunluklar TS EN 197-1 (2012)'ye göre belirlenmiştir. Özgül yüzey (blaine) TS EN 196-5 (2010)'ya göre belirlenmiştir. Bu standartlara ilaveten TS EN 197-2, (2012) ve TS EN 196-2, (2012) standartları da referans alınmıştır. Andezitik tüflerin kimyasal bileşimini belirlemek için X-Işını Kırınımı (XRF) analizi yapılmıştır. Andezitik tüflerin puzolanik aktivitelerinin belirleme yöntemi, TS 25'e göre, kireç-puzolan harçların basınç dayanımları ile belirlenen mekanik deney yöntemidir. Normal kıvam suyu ihtiyacı, priz süresi ve hacim sabitliği belirlemelerinde, farklı oranlarda (%20, %25, %30 ve %35) andezitik tuf içeren katkılı çimentoların ve Portland çimentosunun normal kıvam su ihtiyacı ve priz süreleri vikat cihazı ile, hacim genişmesi deneyleri ise Le Chatelier deney seti ile TS EN 196-3 (2017) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, deney serileri içinde öncelikle kendi aralarında daha sonra birbirleriyle olmak üzere karşılaştırılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Puzolanik aktivite deneyleri ve numunelerin hazırlanışı

TS 25'e göre Puzolanik aktivite deneyi, belirli bir incelikte öğütülerek kalsiyum hidroksitle ve su ile karıştırılması ile elde edilen doğal puzolan harcının basınç dayanımı cinsinden hazırlanan hidrolik özelliği olarak tarif edilmiştir. TS 25'e göre puzolanik aktivite testleri için hesaplanan malzeme miktarları ile örnekler hazırlanmış ve bu örnekler ait kalıpların üstü buharlaşmayı

önleyecek şekilde cam plaka ile kapatılmıştır. Numuneler 24 saat (23±2)°C'lik oda sıcaklığında bekletildikten sonra kalıplar sökülmeden (55±2)°C sıcaklıktaki bir etüv içinde 6 gün daha bekletilmiştir. Numuneler etüvden çıkartılarak oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmış ve TS EN 196-1 (2016)'ya göre basınç dayanımı tayini deneyine tabi tutulmuştur.

2.2.2. Çimento deneyleri ve numunelerin hazırlanışı

TS 25'e göre Puzolanik aktivite deneyi, belirli bir incelikte öğütülerek kalsiyum hidroksitle ve su ile karıştırılması ile elde edilen doğal puzolan harcının basınç dayanımı cinsinden hazırlanan hidrolik özelliği olarak tarif edilmiştir. TS 25'e göre puzolanik aktivite testleri için hesaplanan malzeme miktarları ile örnekler hazırlanmış ve bu örnekler ait kalıpların üstü buharlaşmayı önleyecek şekilde cam plaka ile kapatılmıştır. Numuneler 24 saat (23±2)°C'lik oda sıcaklığında bekletildikten sonra kalıplar sökülmeden (55±2)°C sıcaklıktaki bir etüv içinde 6 gün daha bekletilmiştir. Numuneler etüvden çıkartılarak oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmış ve TS EN 196-1 (2016)'ya göre basınç dayanımı tayini deneyine tabi tutulmuştur

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Karakaya traslarının kimyasal, özellikleri

Karakaya tras sahasından alınan tras örneğinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. TS 25, TS 26 ve TS 819'da kompoze çimento üretiminde kullanılacak trasın özellikleri belirtilmiştir. TS 25'e göre çimento içine katılacak trasların kimyasal özelliklerine sınırlamalar getirilmiştir. Buna göre, traslarda istenen $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$, MgO ve SO_3 değerlerinin miktarları Tablo 2'de verilmiştir. $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ toplam değerinin en az %70 olması gerekmektedir. Kimyasal analiz sonucu elde edilen değerler TS 25'te belirtilen kimyasal

özellikler ile karşılaştırıldığında; Karakaya tras örneğinin $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ toplam içeriğinin %82.25 değerine ulaştığı ve standart değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. SO_3 , MgO ve kızdırma kaybı değerleri de standart değerlerin altında kalmaktadır (Tablo 1-2).

Tablo 1. Örneğin kimyasal analiz sonuçları.

Kimyasal çerik	Değer (%)
SiO_2	68.38
Al_2O_3	12.69
Fe_2O_3	1.18
CaO	4.18
MgO	1.07
Na_2O	0.02
K_2O	3.00
SO_3	0.19
TiO_2	0.16
P_2O_5	0.02
K.K	8.70
Toplam	99.59

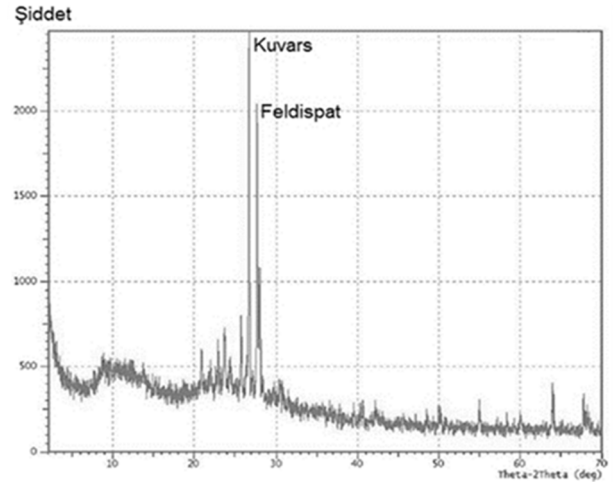
Tablo 2. TS 25 ve kimyasal analiz değerleri

Kimyasal Bileşim	TS 25 (%)	Örnek (%)
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$	≥ 70	82.25
MgO	≤ 5	1.07
SO_3	≤ 3	0.19
Rutubet	≤ 10	1.8

Karakaya trası yarı kalitatif faz analizi (XRD) Esan kalite kontrol laboratuvarında yapılmıştır (Şekil 2). Shimadzu XRD-600 cihazı ile Cu X-Isını tüpü (1.5405 angstrom) kullanılarak yapılan analiz sonucunda, numunelerde amorf yapı gösteren bileşikler saptanmıştır. Karakaya trasında yapılan incelemeler neticesinde kuvars (SiO_2), feldispat, az miktarda kristobolit (SiO_2) ve amorf yapı gösteren bileşiklerin olduğu görülmüştür.

3.2. Karakaya traslarının kimyasal, özellikleri

Doğal puzolanların katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için kimyasal bileşimleri kalite



Şekil 2. Karakaya andezitik tuf numunesi XRD grafiği.

standartlarını sağlamakta önemli bir parametredir. Buna rağmen bazı puzolanik malzemelerin aktivitelerinin düşük olması nedeniyle puzolanik aktivitelerinin bilinmesi gerekmektedir [Carmacho ve Afif, 2002]. Çimentoların basınç dayanım özellikleri kireç ile reaksiyona girme ve bağlayıcı ürünler oluşturma gibi puzolanik özelliklerinin belirlenmesinde sık başvurulan bir yöntemdir [Erdoğan vd., 1999].

Doğal puzolanların TS 25'te belirtilen standart değerleri ve Karakaya tuf numunelerinin puzolanik aktivite ve mekanik test sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir. Puzolanik harç örneklerinin basınç ve çekme dayanımlarının TS 25'de belirlenen minimum değerleri, sırasıyla 2.5 ve 3.3 katı olduğu görülmektedir.

Puzolanik malzemenin düşük inceliğe ve yüksek yüzey alanına sahip olması ve yüzey alanının artma eğiliminde olmasından dolayı basınç dayanımı üzerine olumlu etki yapabilir [Erdoğan vd., 1999]. Yapılan çalışmada elde edilen bulgular ile karşılaştırıldığında, Çolak (2003); doğal puzolanlar üzerine yaptığı bir araştırmada toplam olarak %80.6 $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ ($4564 \text{ cm}^2/\text{g}$) içeren bir malzeme için 28 ve 90 günlük kür süreleri için daha düşük basınç dayanım sonuçları (sırasıyla, 4.45 ve 9.12 N/mm^2) elde etmiştir. Bu

sonuç, araştırmacının kullandığı doğal puzolanın Fe_2O_3 miktarının yüksek (%12.5) olmasından kaynaklanmış olabilir [Erdoğan vd., 1999].

Tablo 3. Fiziksel özellikler ve puzolanik aktivite (7 gün) analiz sonuçları ve TS 25'e göre karşılaştırması.

Yapılan deneyler	Birim	Örnek	TS 25
Basınç dayanımı	(N/mm ²)	10.7	≥ 4
Çekme dayanımı	(N/mm ²)	3.5	≥ 1
Özgül ağırlık	(gr/cm ³)	2.5	
Özgül yüzey	(cm ² /gr)	4928	
45µm elek üstü	%	3.2	
90 µm elek üstü	%	0.9	
D.Y.K. özgül ağırlığı	gr/cm ³	2.1	
Kuru özgül ağırlık	gr/cm ³	1.9	
Zahiri özgül ağırlık	gr/cm ³	2.373	
Don dayanıksızlığı	%	2.93	
Absorbsiyon nispeti	%	13.25	
Birim hacim ağırlığı	gr/cm ³	1.91	2.2
Aşınma nispeti	%	44	40

3.3. Karakaya traslarının kimyasal, özellikleri

Çalışmanın yapıldığı çimento tesisi'nde klinker üretimi için %20.41 oranında çimento kili, %78.20 oranında kalker ve %1.39 oranında demir cevheri kullanılmaktadır. Beslenen cevherlerin kimyasal bileşimi Tablo 4'te verilmiştir. Üretilen klinker, tras malzemesi ve alçı ile çeşitli oranlarda karıştırıldıktan sonra 35 dk öğütülmüştür. Karışım miktarları ve oranları Tablo 5'de özetlenmiştir. Karışımında kullanılan alçı %39.5 SO_3 ve %17.5 H_2O içermektedir. Öğütme sonrasında elde edilen farklı tras içeriklerine sahip katkı

çimentoların kimyasal analizleri Tablo 6'da verilmiştir.

Klinker ve üretilen tras katkılı çimento ürünlerinin tane boyu, yüzey alanı ve özgül ağırlık gibi fiziksel özellikleri ile mekanik dayanım test sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Basınç dayanımının tras içeriğine ve kür süresine bağlı olarak değişimi sırası ile Şekil 3 ve 4'de görülmektedir. Tablo 8'den de anlaşılacağı üzere farklı tras oranlarında (%20-35) üretilen katkı çimentoların TS 26 standardında belirtilen kimyasal kriterlere uygun olduğu görülmektedir. 28 günlük kür süresi sonunda basınç dayanımları göz önüne alındığında Karakaya trası, katkı çimento üretiminde %30'a kadar kullanılabilir. Ancak \pm %10 emniyet faktörü ile en uygun olarak %25-30 oranında katılabilirliğini söylenebilir (Şekil 3-4).

Tablo 4. Çimento üretiminde kullanılan hammaddelerin kimyasal analiz neticeleri

İçerik	Kalker	Kil taşı	Demir cevheri
	%	%	%
SiO ₂	0.24	58.83	21.6
Al ₂ O ₃	0.07	16.44	2.67
Fe ₂ O ₃	0.05	7.58	65.12
CaO	55.45	1.01	1.17
MgO	0.49	3.08	2.49
SO ₃	< 0.01	0.17	< 0.01
Na ₂ O	< 0.01	1.3	< 0.01
K ₂ O	0	3.46	0
TiO ₂	0	0.65	0
P ₂ O ₅	0	0.12	0
Cr ₂ O ₃	0	0.03	0
Mn ₂ O ₃	0	0.09	0
KK	43.68	6.84	6.68
Toplam	99.98	99.6	99.73

Tablo 5. Puzolanik çimento örneklerine kullanılan malzemelerin miktar ve oranları.

Ürün	%20 Tras		%25 Tras		%30 Tras		%35 Tras	
	Miktar (g)	%	Miktar (g)	%	Miktar (g)	%	Miktar (g)	%
Klinker	3040	76	2840	71	2640	66	2440	61
Tras	800	20	1000	25	1200		1400	34
Alçı	160	4	160	4	160	30	160	4
Toplam	4000	100	4000	100	4000	4	4000	100
Öğütme, dk	30	30	30	30	30	30	30	30

Tablo 6. Karakaya tras katkılı çimentoların analiz sonuçları.

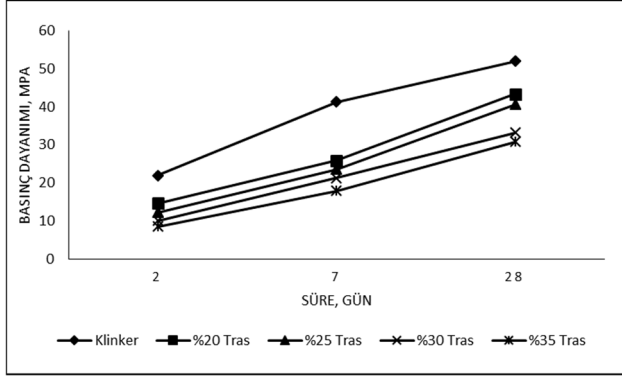
İçerik %	Klinker	%20 Tras	%25 Tras	%30 Tras	%35 Tras	TS26
Çözünmez Kalıntı		16.56	21.12	25.13	29.34	
SiO ₂	20.84	29.51	31.89	34.27	36.64	
Al ₂ O ₃	5.14	4.2	6.82	7.19	7.57	
Fe ₂ O ₃	3.82	2.9	3	4.87	4.74	
CaO	66.75	50.8	48.43	45.3	42.18	
MgO	1.32	1.02	1.2	1.19	1.17	≤5
SO ₃	0.62	0.53	1.19	1.3	1.42	≤3.5
Na ₂ O	0.38	0.29	0.31	0.3	0.29	
K ₂ O	0.76	0.57	0.54	0.5	0.47	
KK	0.28	9.56	6.16	4.94	4.85	≤5
Toplam	99.91	99.38	99.54	99.86	99.33	
Sebest CaO	2.68	1.85	1.68	1.4	1.25	

Tablo 7. Karakaya traslı çimento örneklerinin fiziksel, mekanik özellikleri ve TS 26 ile karşılaştırılması.

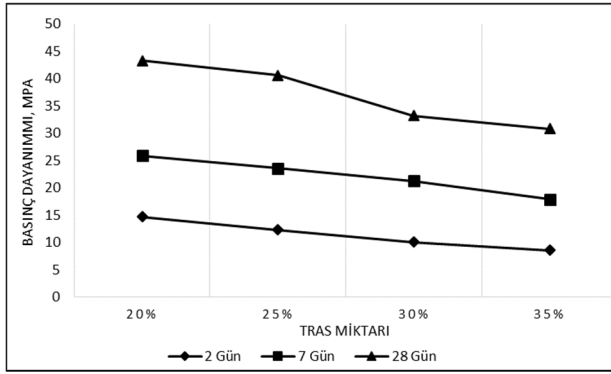
Özellikler	Birim	Klinker	%20 Tras	%25 Tras	%30 Tras	%35 Tras	TS26
200 µm elek üstü	%	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	
90 µm elek üstü	%	1.3	0.9	0.7	0.7	0.5	
45 µm elek üstü	%	5.8	9.8	8.8	7.8	6.4	
Özgül yüzey,	cm ² /gr	3228	4067	4397	4524	4756	≥2800
Özgül ağırlık	gr/cm ³	3.07	2.88	2.8	2.78	2.75	
Hacim genleşme	mm	1	4	3	2	2	≤10
Priz başı- Priz sonu	dakika	135-220	160-290	175-290	185-300	190-305	≥75
2. gün dayanımı	N/mm ²	22	14.7	12.3	10.1	8.6	≥10
7. gün dayanımı	N/mm ²	41.3	25.9	23.6	21.3	17.9	≥21
28. gün dayanımı	N/mm ²	51.9	43.3	40.6	33.2	30.8	≥32.5

Tablo 8. TS 12143'e göre Portland kompoze çimento (PKÇ 32.5) özellikleri.

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı, N/mm ²		Priz Başı (dakika)	Hacim Genleşmesi (mm)	SO ₃	Cl-	Çimento Sınıfı	
	Erken Dayanım	Standart Dayanım					%6-20 katkı	%21-35 katkı
32.5		16	60	10	3.5	0.1	PKÇ/A	PKÇ/B
32.5 R	≥10	≥32.5 ≤52.5						



Şekil 3. Basınç dayanımının zamana bağlı olarak değişimi



Şekil 4. Basınç dayanımının karışım oranına bağlı olarak değişimi.

Sonuçlar, TS 12143'e göre değerlendirildiğinde Ekecik tras malzemesinin PKÇ/A veya PKÇ/B sınıfında 32.5 R tipinde bir çimento üretimine uygun olduğu görülmektedir [Tablo 8].

4. Sonuçlar

Karakaya trası kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde TS 25 in öngördüğü tüm şartlara uygunluk göstermektedir. Karakaya traslarının, volkanik orjinli bir porfirik traki-andezit olduğu ve $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ toplam içeriğinin %82.25 olduğu bulunmuştur. Tras örneklerinin kimyasal analiz ($SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ toplamı ≥ 70) ve puzolanik aktivite analiz sonuçları (7. gün sonunda basınç dayanımı ve eğilmeden çekme dayanımları, sırasıyla 10.7 ve 3.5 N/mm²), Karakaya

trasının TS 25'te belirtilen puzolanik malzeme standartlarına uygun olduğunu ve yüksek puzolanik aktivite özelliğine sahip bir tras olduğunu göstermiştir.

Hammadde mineralojik analiz (XRD) sonucunda, kuvars, kristobolit, feldispat cinsi SiO_2 ve amorf yapı içeren bileşiklerin varlığı belirlenmiştir.

Portland çimento klinkeri ile değişik miktarlarda katkı malzemesi olarak kullanılan malzemenin aktivite test sonuçları, Karakaya traslarının TS 26'da belirtilen puzolanik çimento niteliklerine uygun olduğu ve katkıli çimento üretiminde %30 oranına kadar katkı malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Özellikle kış şartlarında rutubetinin %5-7 arasında seyretmesi Karakaya trasının çimento prosesinde kullanımını kolaylaştırmakta ve rutubet kaynaklı çimento değirmeni üretim kayıplarını en aza indirmektedir. Çimento fabrikası döner fırın soğutma çıkışından değirmene gelen hava rahatlıkla Karakaya trasının bünyesindeki düşük rutubeti (%5-7) uzaklaştıracak ve bu nedenle harici ısıtma ünitelerine gerek kalmadığı için ekstra yatırım maliyeti de ortadan kalkmış olacaktır.

Karakaya trasları, TS 12143 standartlarında tanımlanmış oranda (\leq %55) göre %20'den daha az puzolan içeren PKÇ/A sınıfı 32.5 R tipi veya %20-30 puzolan içeren PKÇ/B sınıfı 32.5 R tipi çimento üretimi için uygundur. Fakat katkıli çimentoların bünyelerinde var olan Cl içeriklerinin de TS 12143'e göre uygun olup olmadığının araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada çimento sanayiinde puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılacak Karakaya trası Kayseri Çimento Fabrikasına 200 km uzaklıkta, Yozgat Çimento Fabrikasına yaklaşık 170 km mesafede, Sivas'ta bulunan çimento fabrikasına yaklaşık 60 km ve Tokat'ta bulunan çimento fabrikasına

yaklaşık 50 km mesafede bulunmasından dolayı getirdiği stratejik bir öneme sahip olup, düşük nakliye maliyeti bakımından da önemli bir konuma sahiptir

5. Kaynakça

ASTM C618; *Annual book of ASTM standards*, Philadelphia, US.

Binici, H., (2002). PÇ-GYFC-Pomza Üçlü Karışımlarının Özellikleri, *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.

Camacho, R.E.R., Afif, R.U., (2002), "Importance of Using the Natural Pozzolans on Concrete Durability", *Cement and Concrete Research*, Elsevier, 32: 1851-1858.

Çolak, A , (2003), Characteristics of Pastes From A Portland Cement Containing Different Amounts of Natural Pozzolan, *Cement and Concrete Research*, Elsevier, 33, 585-593.

Erdoğdu, K., Tokyay, M., Türker, P., (1999), Traslara ve Traslı Çimentolar, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Arge, Ankara, 63 s.

Heikal, M., El-Didamony, E., ve Morsy. M. S., (2000), Limestone-filled Pozzolanic Cement, *Cement and Concrete Research*, 1827-1834.

Hewlett, P.C., (1998). Lea's Chemistry of Cement and Concrete, *John Wiley and Sons Inc., Fourth Edition*, New York, USA.

Korkmaz, M., (2001). Terme Çamlıca Köyü Taşhane Mevkii Taş Ocağından Üretilen Malzemenin Çimento Hammaddesi Olarak Kullanılabilirliği, *KTÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Bitirme Tezi*, Trabzon, 102 s.

Massazza, F., (1999). Pozzolanlar ve Dayanıklılığı, *Cement and Concrete World*, 4(21), 15-32.

Mesci, L, B., ve Gürsoy, H., (2002), Çobansaray-Karakaya (Yıldızeli HB-Sivas) arasındaki Orta Anadolu Bindirme Kuşağının (Kuzey Neotetis Kenedi) Tektono stratigrafik ve yapısal özellikleri, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 135-150.

Postacıoğlu, B., Çakıroğlu, N., Ortabası, N., (1960). Kayseri Puzolanları, *İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi, Yapı Araştırma Kurumu, Seri C, Sayı11*, İstanbul.

Postacıoğlu, B., Uyan, M., Mazlum, F., (1987). Traslı

Çimentoların Kullanma Alanları, *İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi*, İstanbul.

TS-25, (1975). Trasa, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS-26, (1985). Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS-819, (1988). Rilem- Cembureau Standart Kumu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara

TS EN 197-1, (2012), Genel Çimentolar, Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 197-2, (2012), Çimento, Uygunluk Değerlendirmesi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 196-1, (2012), Çimento Deney Metotları, Dayanım Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 196-2, (2012), Çimento Deney Metotları, Çimentonun Kimyasal Analizi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 196-3, (2012), Çimento Deney Metotları, Priz Süresi ve Genleşme Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 196-5, (2012), Çimento Deney Metotları, Puzolanik Çimentolarda Puzolanik Özellik Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS 12143, (1997), Çimento-Portland Kompoze, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

Çilhoroz (Çayırılı-Erzincan) Kömürlerinin Paleo-Çökelim Ortamı ve Kömürleşme Süreci Özellikleri

Nazan Yalçın ERİK^{1*}, Faruk AY²

^{1*} Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, nyalcin@gmail.com

² Cumhuriyet Üniversitesi, Antropoloji Bölümü, ay.faruk@gmail.com

Özet

Bu çalışma Erzincan havzasında, Çilhoroz civarındaki kömürlü istiflerin paleo-ortam özellikleri ve kömürleşme süreçlerinin belirlenmesi amacıyla petrografik yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Kömürlü istif, kömür ve ardalanmalı tabakalardan (başlıca kil, karbonatlı şeyl, kireçtaşı) oluşur ve Çayırılı sahasında Miyosen yaşlı Neftlik Formasyonu taban seviyelerinde bulunur. Çilhoroz kömür damarı egemen olarak mat, bantlı mat litotiplerini göstermektedir. Kömür ksilitik/detritik litotipler ve hüminit maseralleri, ikinci olarak da inertinit maseralleri ile çok düşük miktarda liptinitlerden oluşmaktadır. Densinit, attrinit, ulminit ve korpohüminit sırasıyla en bol bulunan hüminit grubu maseralleridir. Inertodetrinit ve makrinit inertinit grubunda egemenken, liptinit grubunda da sporinit ve resinitle baskın maserallerdir. Mineral madde içeriği (kil ve pirit gibi) ise genellikle değişken ve düşük (%1-7 arasında) olup, çoğunlukla kuvars, kalsit, kil mineralleri ve piritten oluşur. Kısa ve elementer analiz verilerine göre kömür düşük kül (ort. %27), nem (ort. %18) ve kükürt içeriklidir (ort. % 7.7). Uçucu madde ve karbon bileşimi ortalama değerlerde iken, hidrojen ve azot içeriği düşüktür. Ortalama hüminit yansıma değerleri (Ro, %) 0.42-0.50 arasında değişmektedir ve ASTM sınıflamasına göre bitümlü B/C tipi kömürdür. GI-TPI, VI-GWI fasiyes diyagramlarına göre Çilhoroz kömür damarı limnik ortamda, başlıca bitkisel maddelerin birikimi ile retrofik-mesotrofik şartlarda oluşmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tersiyer kömürleri, paleo-ortam, petrografi, Çayırılı kömürü, Erzincan Havzası.

Paleo-Depositional Environment and Coalification Characteristics Of Çilhoroz (Çayırılı - Erzincan) Coals

Abstract

This study has done by petrographic methods in order to determine the paleo-depositional features and coalification process characteristics of coal deposits around Çilhoroz in Erzincan basin. Coal bearing units consists of coal and alternating layers (mainly clay, carbonate shale, limestone) and it located at the Miocene aged Neftlik Formation at Çayırılı area. Çilhoroz coal seam demonstrate a dominance of dull and banded dull lithotypes. The coal is predominated by combined xylitic/attrital lithotypes and by huminite macerals with inertinite and minor liptinite macerals. Densinite, attrinite, ulminite and corpohuminite were the most abundant huminite group macerals, respectively. Inertodetrinite and macrinite were the dominant inertinite macerals, while sporinite and resinite were the predominant liptinite macerals. The content of mineral matter (such as clay, pyrite) is variable but generally low (varying from 1% to 7%), it consists mostly of quartz, calcite, clay minerals, and pyrite. According to the proximate and ultimate analyses data indicate that the coal is describe by and in proportion to low ash (avg. 27%), moisture ingredient (avg. 18%) and total sulphur content (avg. 7.7). The volatile matter yields and carbon contents are relatively high, while fixed carbon, sulphur and oxygen contents are average and hydrogen and nitrogen contents are low. The mean huminite reflectance values of samples (Ro, %) ranged from 0.42 to 0.50, and these coals are bituminous B/C coal according to ASTM classification. Based on the GI-TPI, VI-GWI facies diagrams, the Çilhoroz coal formed in the limnic environment, with the accumulation of dominated vegetable matter and conditions up to rheotrophic to mesotrophic.

Keywords: Tertiary coals, paleo-environment, petrography, Çayırılı coal, Erzincan Basin.

1. Giriş

Bilindiği gibi ülkemizdeki fosil yakıt rezervlerinin önemli bölümü Tersiyer yaşlı, düşük kalorili linyit ve alt bitümlü kömürlerden (<2500 Kcal/kg) oluşmaktadır. Bahsedilen bu kömürler Batı Anadolu başta olmak üzere (Soma, Tunçbilek, Yatağan, Seyitömer gibi) yaklaşık 230.000 km² lik geniş bir yayılım alanına sahiptir ve kömür damarlarının kalınlığı 0.05-87 m arasında değişmektedir [Toprak, 2009; Tuncalı vd., 2002]. Göncüoğlu vd., (2000), Luttig & Steffens (1976) ve Şengör (1980) tarafından da belirtildiği gibi Alpin orojenezi etkisinde kalan Türkiye'deki Tersiyer yaşlı havzalar Tetis kalıntısı olup, genellikle dağ arası göllerde, uygun bataklık şartları fiziksel ve kimyasal olarak geliştiğinde bu kömür oluşumlarını gerçekleştirmiştir. Neojen döneminde, Arap ve Anadolu levhaları arasında gelişen büyük bölgesel tektonik hareketler özellikle Orta Anadolu'daki Neojen öncesi önülke havzalarının yükselmesine neden olmuş [Görür vd., 1998], bunun sonucunda Geç Miyosende etkin bir regresyon süreci ile Geç Miyosen ve Pliyosen süresince karasal koşullar egemen olmaya başlamıştır. Bu yeni paleoortam özellikleri, Erken Miyosendeki ılıman-yağışlı bir iklim sayesinde [Akgün vd., 1995] gelişen bitkisel çeşitlilik ve bolluk ile birleştiğinde birçok kömür oluşum sürecinin de başlangıcını oluşturmuştur. Ülkemizde bulunan Tersiyer yaşlı kömür sahaları genellikle Miyosen ve Eosen yaşlı olup, başlıca jeolojik değerlendirmeler olmak üzere, birçok bilimsel araştırmaya konu olmuştur [Akgün vd., 1995; Ay & Yalçın Erik, 2015; Bechtel vd., 2014; Gürdal & Bozcu, 2011; Hoş Çebi & Korkmaz, 2013; Hökerek & Özçelik, 2015; Karayığit vd., 2017; Kara-Gülbay, 2015; Oskay vd., 2016; Toprak, 2009; Yalçın Erik, 2011; Yalçın Erik & Ay, 2013; Yalçın Erik & Sancar, 2010].

Kömür jeolojisi çalışmalarında önemli bir yere sahip olan organik petrografi ise sedimanter havzalardaki kömür oluşumunu sedimantasyon ve diyajenez süreci ile birlikte değerlendirerek, organik malzeme birikiminden itibaren geçirdiği değişim aşamalarını incelemeyi ve kömürlü istifin paleojeotermal tarihçesinin belirlemeyi

amaçlayan bir araştırma yöntemidir ve birçok araştırmacı tarafından uzun yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır [Bechtel vd., 2005; Daivd., 2007; Stock vd., 2016; Suárez-Ruiz vd., 2012; Zdravkov, 2011]. Ancak, sadece petrografik veriler kullanılarak oluşturulan çökelim ortamı ve/veya süreç modellenmesi ve bahsedilen yöntemin doğruluğu üzerindeki görüş farklılıkları günümüzde de devam etmektedir [Crosdale, 1993; Dehmer, 1995; Moore & Shearer, 2003; Scott, 2002; Sen vd., 2016; Wüst vd., 2001]. Bu çalışmanın da temel prensibini oluşturan paleoortam-paleoçökelim süreci modellenmesi, başlıca kömür örneklerinde yapılan kantitatif maseral analizi verileri ile yapılmaktadır. Maseral tipleri, birlik-telikleri ve bulunuş oranları, turba oluşum ortamının fiziksel ve kimyasal özelliklerini yansıtırken, vitrinit/hüminite yansıma değerleri de turbanın jeotermal gelişimini, dolayısıyla kömürleşme sürecini petrografik ve palinolojik veri sınırları dahilinde ifade etmektedir [Taylor vd., 1998; Teichmüller vd., 1998]. Elbette hiçbir yöntem bir jeolojik sorunun çözümü için tek başına yeterli olmaz. Bu yöntemin de şüphe ile karşılanan ve sorulara neden olan kısımları olsa bile [Stock vd., 2016] yeterince bol ve doğru şekilde yorumlanan veri, ayrıca farklı alanlardan edinecek (organik jeokimya, palinoloji, mineraoloji gibi) destekleyici parametre ile oldukça gerçekçi çökelim ve kömürleşme süreci kurgularının yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Bu çalışma sırasında incelenen Çilhoroz kömürleri de Doğu Anadolu Bölgesi sınırlarında yerel kömür ihtiyacını karşılayan tek kömür sahasıdır ve oluşum süreci, kömürlerin ekonomik özellikleri hakkında detaylı herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Geçmiş yıllarda MTA tarafından yapılan çalışmalarda [Türkiye Linyit Envanteri, 2003] Çilhoroz sahasında üretim faaliyeti devam eden kömürlerin Miyosen yaşlı birimler içinde olduğu, kömür kalınlıklarının 1.16-6.00 metre arasında değiştiği, mostralarda görülen damarların 172 metre derinlikte izlenebildiği ve görünür+muhtemel+mümkün rezerv toplamının 1.516.800 ton olduğu belirtilmiştir [Türkiye Linyit Envanteri, 2003].

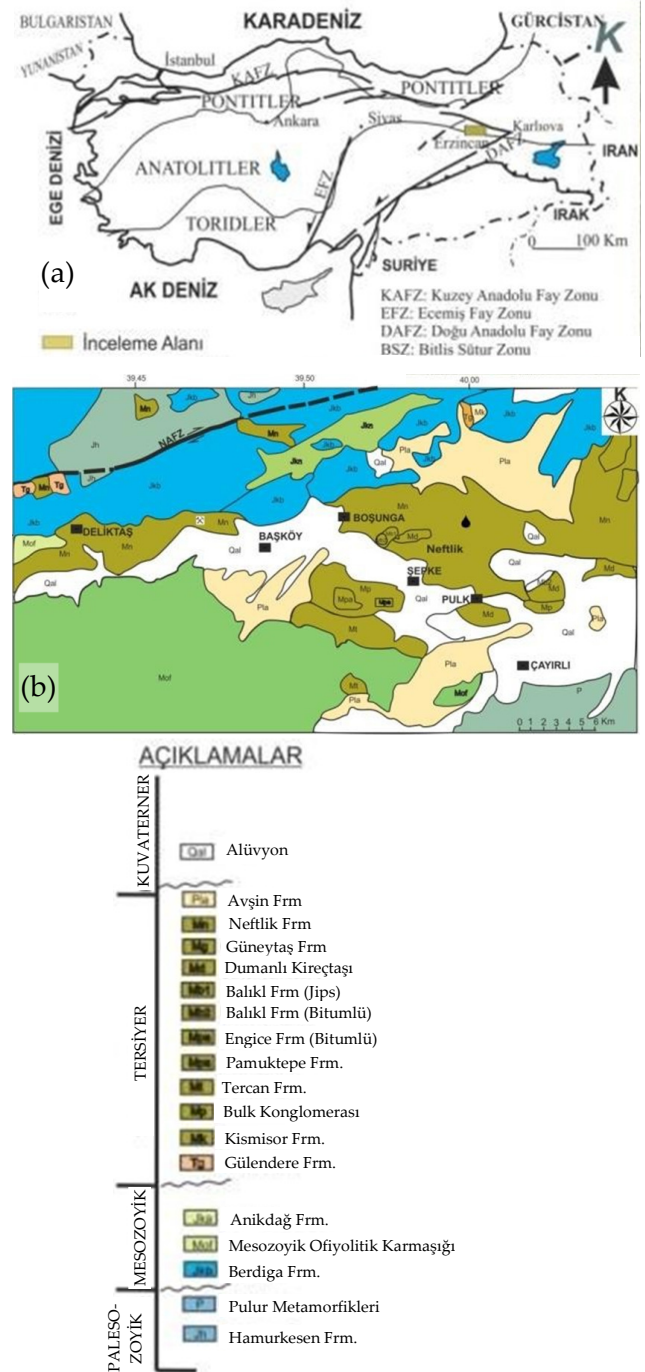
Bu çalışma ile özellikle Türkiye'nin depremsellik açısından en aktif bölgelerinden biri olan ve çek ayır havza özelliğindeki Erzincan Havzasındaki kömürlerin, çökelim ortamı özellikleri ve turba oluşumundan itibaren geçirdikleri muhtemel değişim süreçleri, petrografik ve kömürün kimyasal, elementer verileri ile yorumlanmaya çalışılmıştır.

1.1. Bölgesel Jeoloji ve İnceleme Alanının Stratigrafik

İnceleme alanı, Pontidler ve Anatolitlerin kenet kuşağında (İzmir-Ankara-Erzincan kenet zonu) bulunmakta olup [Okay & Tüysüz, 1999], Kuzey Anadolu fay zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu fay zonu (DAFZ) gibi iki önemli fay sisteminin etkisiyle tektonik faaliyetleri geçmişten günümüze aktif olan ve bu nedenle jeolojik açıdan karmaşık özellikler taşıyan bir bölgedir (Şekil 1.a, b). Günümüzde Kuzey Anadolu fayı ve Ovacık fayı gibi önemli kırıkların kesişme noktasında bulunması nedeniyle, güncel olarak tektonik aktivitesi devam eden, yaklaşık 50 km uzunluk ve 10 km genişlikte bir çek ayır havzadır. Bu nedenle bölgede başlıca genel jeoloji ve tektonizma özelliklerini araştıran pek çok çalışma yapılmıştır [Akkuş, 1964; Akpınar vd., 2016; Aktimur, 1986; Aktimur vd., 1995; Akyol, 1968; Akyol & Birgili, 1966; Arpat, 1964; Birgili & Yurdakul, 1971; Bulut, 1965; Bulut & Akyol, 1966; Demirmen, 1965; Deveciler vd., 1993; Gedik, 1976; Gedik, 2008; Ketin, 1950; Kurtman, 1962; Tekin, 2002; Palmer vd., 2004; Roothan, 1940; Stchepinsky, 1940; Tatar vd., 2013; Temiz, 2004].

İnceleme alanının temelini Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçlar (Pülür metamorfikleri ve Hamurkesen Formasyonu) oluşturur. Kömür oluşumunun bulunduğu, Çayırılı ilçesi ve civarında metamorfiklerin üzerinde Berdiga kireçtaşı, tektonik olarak yerleşen ve oldukça kalın bir istif olan Kretase yaşlı ofiyolitli karmaşık ve Üst Kretase yaşlı Anıkdağ Formasyonu bulunur. Bu

birimleri uyumsuz olarak Tersiyer yaşlı kırıntılı ve karbonatlı çökeller üzerler [Gedik, 2008] (Şekil 1 ve Şekil 2).



Şekil 1. (a) İnceleme alanı yerbulduru ve Türkiye'nin tektonik birlikleri içindeki yerine ait harita ve (b) genel jeoloji haritası [Türkiye Linyit Envanteri, 2003].

Tersiyer yaşlı istif, türbiditik fliş özelliğindeki Alt-Orta Eosen (Lütesiyen) yaşlı Gülandere Formasyonu ile başlar [Gedik, 2008]. Kumtaşı, konglomera, şeyl, tuf ve aglomera ardalanmasından oluşan birimde andezitik ve bazaltik lavlar ile olistostromal düzeyler de izlenir [Aktimur ve diğ., 1995]. Bu birimin üzerinde ise kırmızı ve mor renkli kil, marn, kumtaşı ve konglomeralardan oluşan Miyosen yaşlı Kismisor Formasyonu uyumsuzlukla bulunur [Arpat, 1964]. Açık sarı, grimsi beyaz renkli, bol fosilli kireçtaşlarından oluşan, Burdigaliyen-Erken Miyosen yaşlı Tercan kireçtaşı Çayırılı güneyinde, metamorfitle ve ofiyolitler üzerine açılmal uyumsuzlukla gelmektedir [Deveciler vd., 1993; Gedik, 2008; Pisoni, 1965]. Bunu Erken Miyosen (Burdigaliyen) yaşlı Pamuktepe Formasyonu kireçtaşları ile aynı yaştaki Pülk konglomerası üzerler [Arpat, 1964]. Pamuktepe kireçtaşı; altta açık gri renkli, sert, iyi tabakalanmalı, kumlu kireçtaşları; bol fosilli kumlu ve killi kireçtaşlarından ibarettir ve Engice Formasyonu kireçtaşları ile benzer litolojik özellikler gösterir. Aynı yaştaki Balıklı Formasyonu ise kil, bitümlü marn, klastik bileşenli kireçtaşı seviyeleri ve jipslerden oluşmaktadır [Arpat, 1964; Gedik, 2008]. Dumanlı kireçtaşının litolojisi ise alt seviyeleri konglomera ve kavkı kırıntılı, yaklaşık 500 m kalınlıktaki kireçtaşlarıdır. Üzerine nispeten ince (100 m) Güneytaş Formasyonu kil, kumtaşı ve marn düzeyleri gelir [Gedik, 2008]. Bu birimi ise inceleme alanında geniş yüzlekler sunan konglomera, kumtaşı, kilaşı ve kumlu marn ardalanması ve taban düzeylerinde kömür damarları bulunan Miyosen yaşlı Neftlik Formasyonu alt düzeylerinde sert çimentolu konglomera ile iri ve orta taneli kumtaşı ardalanmasından oluşan Pliyosen yaşlı Avşin Formasyonu [Arpat, 1964; Deveciler vd., 1993], üstte ise marn, kömürlü kil, kömür ve tüfler üzerler [Akkuş, 1964]. Tüm bu birimleri ise Kuvaterner yaşlı alüvyonlar uyumsuzlukla örter (Şekil 2).

2. Kömür Jeolojisi Değerlendirmeleri

2.1. Erzincan ili kömür potansiyeli

Erzincan il sınırlarında özellikle MTA tarafından yapılan çalışmalar ile genellikle ekonomik olmayan ve günümüzde işletilmeyen bazı sahalar belirlenmiştir [Türkiye Linyit Envanteri, 2003]. Bunlar;

Refahiye-Alakilise; Kömürler Miyosen yaşlı birimlerin hemen üzerinde bulunmakta olup, bunlar muhtemelen Pliyosen yaşlı Afşin Formasyonu içindeki oluşumlardır ve kalınlıkları 0.08-4.00 m arasında değişmektedir. Yayılım alanı 0.25-1 km² ve rezerv miktarı toplam 3 450 000 ton olup, ısıl değer Biçer sahası için 1199-2499 Kcal/kg, Karasu sahası kömürleri için ise 1800 Kcal/kg arasında değişir [Türkiye Linyit Envanteri, 2003]. Kemaliye-Başpınar; Neftlik Formasyonu içinde gözlenen kömürlerin kalınlıkları 0.70-3.00 m arasında olup, yaklaşık yayılım alanları 5 km² dir. Kömür yaklaşık 200-400 m derinliktedir ve alt ısıl değer ortalama 3000 Kcal/kg dir. Görünür+muhtemel rezervi 663.000 tondur [Türkiye Linyit Envanteri, 2003].

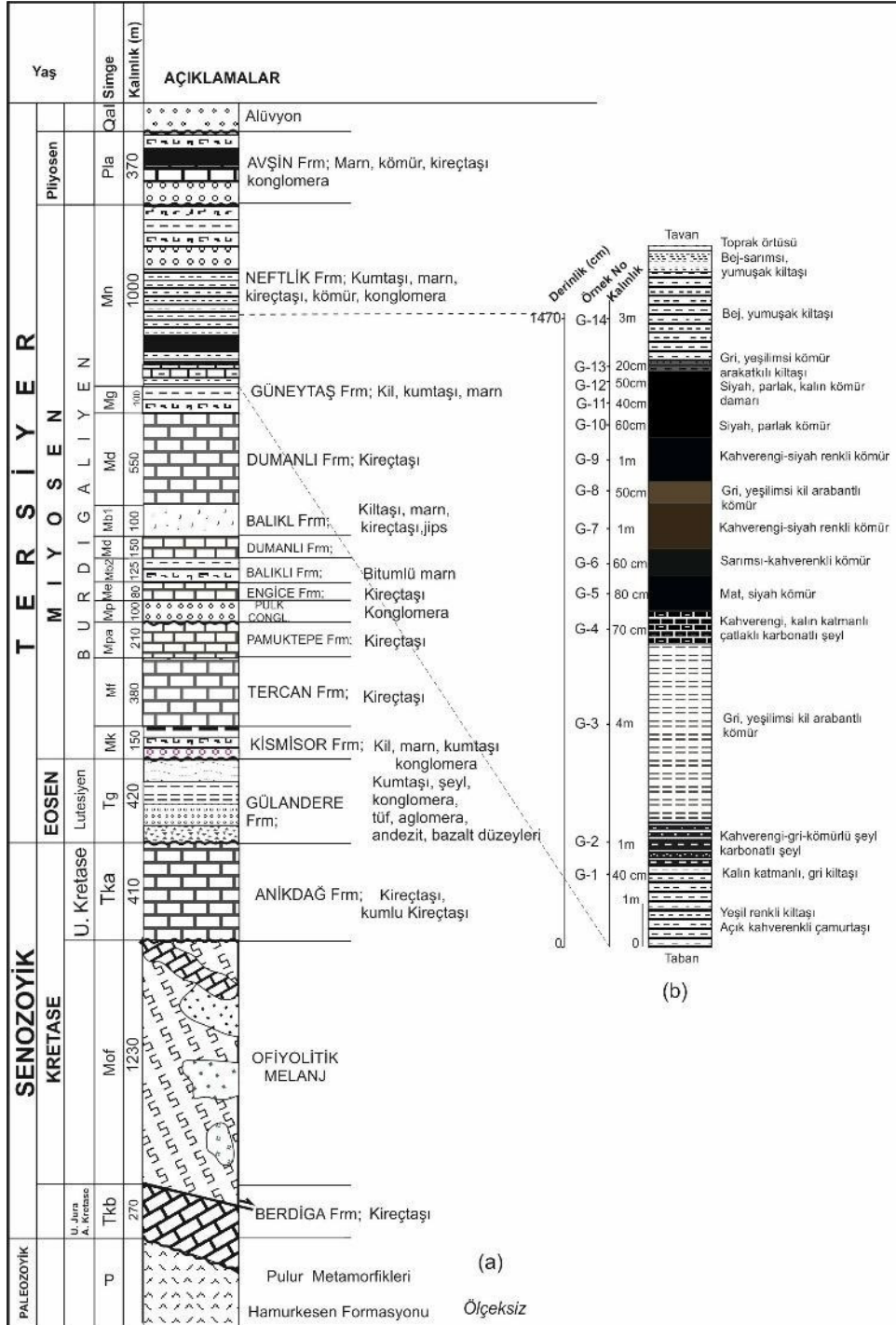
Kemah (Karadağ); Bu alanda MTA tarafından yapılan değerlendirmeler ile yüzey mostralarda ve 800 m derinlikte, 0.73-1.00 m kalınlıkta belirlenen 7 adet kömür zonundan sadece iki tanesinin ekonomik öneme sahip olduğu belirtilmiştir. Karadağ sahasında 6.007.065 ton kaynak rezerv ve alt ısıl değerinin de ortalama 5591 Kcal/kg olduğu belirtilmekle birlikte herhangi bir üretim faaliyeti bulunmamaktadır [Türkiye Linyit Envanteri, 2003].

2.2. Çilhoroz kömürlerinin jeolojik özellikleri

Erzincan civarındaki yerel kömür ihtiyacını karşılayan tek kaynak olan Çilhoroz Kömür sahası, Çilhoroz Köyü, Deliktaş mezrasında, Çayırılı ilçesine 38 km, Erzincan il merkezine 50 km mesafede olup (Şekil 1), özel bir şirket tarafından işletilmektedir. Üretilen kömürün büyük kısmı genellikle Aşkale Çimento Fabrikasına satılmakla

birlikte, civardaki tuğla fabrikalarına ve ısınma amaçlı torba kömür olarak da yerel piyasaya verilmektedir. MTA ve işletme tarafından son yıllarda yapılan sondajlara dayanarak ortalama kalınlığı 4 m olan kömür damarının K40 D

yöneliminde ve 2 km mesafede bulunduğu, sahada 1.980.000 ton mümkün rezerv olduğu belirtilmiş [Türkiye Linyit Envanteri, 2003], bu çalışma sırasında da herhangi bir rezerv değerlendirmesi yapılmamıştır.



Şekil 2. (a) İnceleme alanı stratigrafik dikme kesiti (Türkiye Linyit Envanteri, 2003' den değiştirilerek), (b) Çilhoroz kömürlü istifine ait ölçülü dikme kesit ve örnekleme seviyeleri.

3. Materyal ve Metod

Çilhoroz kömür sahasında Neftlik formasyonu alt düzeylerindeki kömürlü istiften (kömür, kömürlü kilaşı, killi kömür ve karbonatlı düzeylerin araldanması) yapılan 1.5 metrelik ölçülü stratigrafik dikme kesitten (ÖSK) 14 adet sistematik örnek derlenmiştir (Şekil 2.b). 7 adet kömür ve 3 adet karbonatlı şeyl örneğinin kimyasal ve elementer analizi M.T.A. Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi (MAT) laboratuvarlarında ASTM 1983 ve 1991 [D 7582, D 3175, D 4239, D 5865]'e göre yapılmıştır. Kömür kalite verileri (toplam nem, kül, uçucu madde, sabit karbon, üst ısıl değer) IKA 4000 adiabatic kalorimetre; elementer bileşimi ise (C, H, O, N, S) LECO analizatörü ile belirlenmiştir.

Petrografik analizler için kömür örnekleri ISO 7404-2, 2009; ISO 7404-3 (2009), Sykorova vd., (2005) ile ICCP (1998) tarafından belirtilen işlem süreçlerine göre hazırlanmış ve yorumlanmıştır. Petrografik değerlendirmeler Leitz MPV- SP yansımali ışık mikroskopunda ve 50X objektif ile yapılmıştır. Rastgele hüminite/vitrinite yansıma ölçümleri için Leica DM2500 P ile MSP200 windows tabanlı program kullanılmış, ICCP (1998), ISO 7404-5 (2009)'a uygun olarak değerlendirilmiştir. Yansıma ölçümlerinde özel yağlar (kırılma indisi - n : 1.518) ile yansıma değerleri için de safir (R= % 0.589) ve cam (R=%1.23) standartlarından yararlanılmıştır. Liptinit maserallerinde ayrıca 621059 nolu Leica standartı ile floresans incelemesi yapılmıştır. Bu ölçümlerde TIDAS CCD UV-NIR düzeneği kullanılmıştır. Çökelim ortamı yorumu için gereken GI, TPI, WI, GWI, WI, TI parametreleri ise Calder vd., (1991) ve Diessel (1986) tarafından hazırlanan, Kalaitzidis vd., (2004) tarafından Tersiyer yaşlı linyitler için düzenlenen formüllere göre belirlenmiş ve ilgili grafiklerde (GWI-VI ve GI-TPI) örneklerin değerlendirmesi sağlanmıştır.

4. Analiz ve Test Sonuçları

2.1. Kömürün Makroskobik Özellikleri

İnceleme alanındaki kömürler başlıca marn, kumtaşı, kumlu marnlardan oluşan Miyosen yaşlı Neftlik Formasyonu'nun taban seviyesinde, orta-kalın damar kalınlıklı (1.5-4.0 m), ince kil, kömürlü kil, karbonatlı şeyl bantlı ve yanal olarak karbonatlara geçişli olarak yer almaktadır. Kömürlü istifte, mat siyah renkli kömür bantları, gri-koyu gri ve kahverenkli kömürlü düzeyler ve daha ince parlak siyah kömür bantları araldanmalı olarak görülür. Kömürler prizmatik kırılma yüzeyleri ile karakteristik olup, bazı düzeylerde mineralojik ve petrografik özelliklerden dolayı dağınık ve mat özellik gösterir. Kömürde egemen litotip vitren, klaro-düren ve düren araldanmasıdır. Bechtel ve diğ., (2014)'de belirtildiği gibi Türkiye'deki Tersiyer yaşlı kömürlerin karakteristik özelliklerinden biri de gastropod kavkı düzeyleridir. Bu kömürlerde de mat ve dağınık düzeylerde bitki parçaları ve bazı gastropod kavkuları görülmekle birlikte, bu özellik Kangal kömürlerindeki gibi düzgün bir kılavuz seviye oluşturmayan, kömürlü kilaşları veya gri renkli kilaşı düzeylerinde saçınmış olarak görülmektedir [Yalçın Erik, 2010; Yalçın Erik & Sancar, 2010].

2.2. Kömürün Makroskobik Özellikleri

Kömür bileşimindeki maserallerin türleri ve bulunuş oranları, turba oluşumu sırasında bataklık ortamında biriken organik maddelerin (bitkisel ve/veya diğer organizmalara ait parçalar) fiziksel/kimyasal özellikleri ve turbalaşma koşulları (flora, fauna, iklim, su seviyesi yüksekliği, pH, bakteri etkinliği ve bunlara ilişkin bozunma süreci ile turba oluşumu öncesinde ve/veya sonrasında bitkilerin geçirmiş olduğu taşınma, parçalanma, oksidasyon/redüksiyon etkileri) hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir [Taylor vd., 1998; Teichmüller vd., 1998].

İncelenen kömürlerin kömürleşme sürecinin değerlendirilebilmesi için öncelikle Tablo 1'de

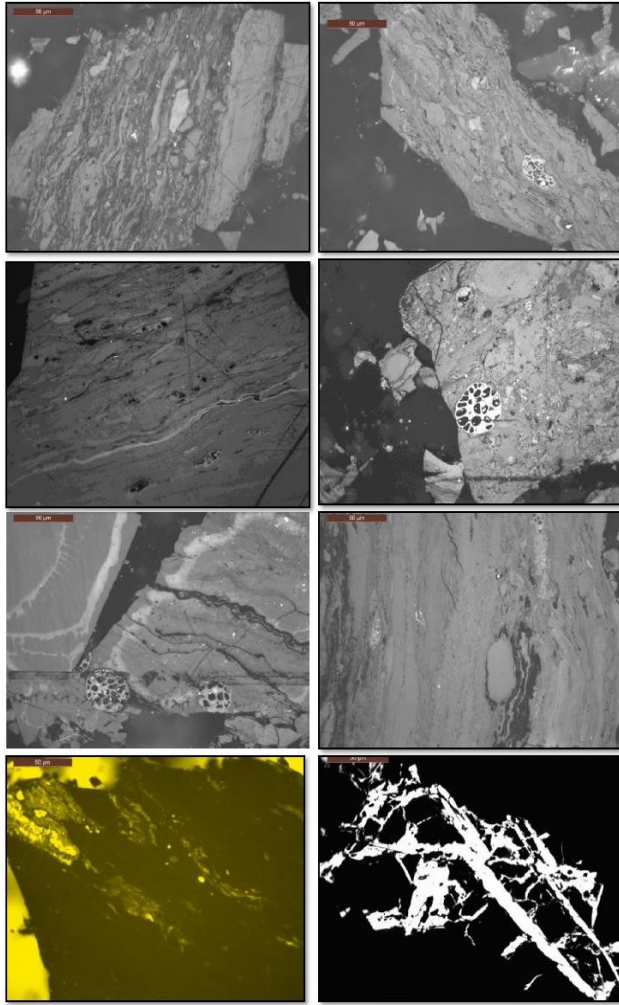
görüldüğü gibi maseral bileşimlerinin oransal dağılımı belirlenmiştir. Kömürlerde egemen maseral grubu vitrinitler olup (hüminit) %36-47, (ortalama %46.3) arasında değişmektedir. Hüminitler, başlıca telohüminit (tekstinit, ulminit), detrohüminit (atrinit, densinit) ve jelohüminitlerden (jelinit, korpohüminit ve phlobaphinit) oluşmaktadır (Şekil 3.a, b). Ülminit ve densinitler bu maseral grubu içinde en bol bulunan bileşenlerdir (Tablo 1) (Şekil 3.c, d). Gelohüminit alt grubu ise toplam hüminit bileşiminde nispeten daha düşük oranda olup (%6-16), gelinit, korpohüminit ve phlobaphinit maserallerinden oluşur (Şekil 3.c, d, e). Bileşimde %1-6 arasında bulunan korpohüminitler odunsu parçaların bakteriyel aktivite ve yüksek oranda su seviyesi olan ortamlardaki değişim süreçleri ile oluşmaktadır. İncelenen kömürlerde phlobaphinit oranı ise oldukça düşüktür (%1-6)

Bunun yanı sıra liptinit %13-20 (ortalama %15.8) ve %33-42 oranında (ortalama %39.2) da inertinitler bulunmaktadır. Liptinitlerde sporinitler egemen bileşen olup (%8-14), füzinitler gibi normal mikroskop şartlarından daha net olarak floresan ışıktaki izlenebilmiştir (Şekil 3.f, g). Suberinitler, korpohüminitlerle ilişkili hücre duvarı yapısı olarak görülür ve yansıyan ışıktaki koyu renkli, floresans ışıktaki ise açık sarı renklidirler (Şekil 3.g, h). İncelenen örneklerde resinit, kütnit maseral oranları oldukça düşüktür ve alginit maserali belirlenmemiştir (Tablo 1). Sporinit maseralleri ise bileşimde %8-14 arasında değişmektedir. İntertinit maseral grubu liptinit maserallerine oranla daha bol olup (%33-42), başlıca bataklık şartlarında gelişen yangınlar, çökelim sırasında ve/veya sonrasında oksidasyon ve taşınma gibi faktörlere bağlı olarak zenginleşirler. %14-21 arasında değişen oranlarda bulunan makrinitler ise oksidasyon sonucunda oluşan "jelimsi" bileşenler olarak tanımlanmaktadır ve inertinit grubu içindeki en bol bulunan maseraldir (Şekil 3.f) [Scott, 2002; Taylor vd., 1988].

İkincil en bol bulunan maseral olan inertodetrinitler de "yeniden çökelmiş organik yağışım" olarak ifade edilebilir (Şekil 3.c, d, e). Ayrıca fusinit, semifüsinit ve funginitlerde bileşimde bulunan diğer maserallerdir (Şekil 3.h). İncelenen örneklerde inorganik madde oranı (kil vb.) yüksek değildir (%2-7) ve oranca en fazla olan bileşen piritler ve killer, daha sonra karbonatlı (kalsit), sülfatlı (jips) minerallerdir (Tablo 1).

Tablo 1: İncelenen kömürlerin petrografik bileşim özellikleri ve paleo-ortam parametreleri.

Maseral/ Örnek	G-5	-7	-8	-9	-11	-10
<i>Tüm kömür bileşiminde (%)</i>						
Textinite	2	1	4	3	2	2
Ulminite	15	14	12	10	16	11
Telohüminit	17	15	16	13	18	12
Attrinit	2	3	4	1	0	1
Densinit	14	16	11	12	14	10
Detrohüminit	16	19	15	13	14	11
Gelinit	4	3	4	7	7	5
Corpohüminit	2	1	2	3	4	6
Phlobaphinit	1	2	2	6	4	2
Gelohüminit	7	6	8	16	15	13
Toplam Hüminit	38	40	39	42	47	36
Sporinit	10	11	12	8	13	14
Resinit	1	1	3	2	1	2
Cutinit	1	1	3	2	1	2
Suberinit	2	1	2	3	2	1
Toplam Liptinit	14	13	20	14	15	19
Fusinit	2	0	2	2	0	1
Semi-fusinit	1	1	3	4	4	2
Inertodetrinit	14	15	12	12	8	19
Funginit	4	5	5	6	3	4
Macrinit	20	21	17	16	18	14
Toplam İntertinit	41	42	39	40	33	40
<i>Tüm kömür bileşimindeki mineral madde oranlar (%)</i>						
Kil	3	1	-	1	1	1
Karbonat	2	1	-	1	1	0
Kuvars	1	1	1	-	1	1
Pirit	1	2	1	2	2	3
Toplam	7	5	2	4	5	5
Ort.Ro (%)	0.59	0.58	0.56	0.55	0.53	0.57
<i>Paleo-ortam parametreleri</i>						
TP ₁	0.62	0.43	0.65	0.56	0.76	0.54
G ₁	0.78	0.74	0.62	0.73	1.17	0.74
GW ₁	1.56	1.49	1.40	2.36	1.58	2.48
V ₁	0.56	0.39	0.62	0.74	0.69	0.39
W ₁	0.59	0.63	0.57	0.9	0.72	0.71
T ₁	1.38	1.13	1.53	1.62	1.79	1.91



Şekil 3. Kömürlerin petrografik bileşim mikrofotoğrafları (a), (b); telohüminit (tekstinit, ulminit), atrinit, densinit ve jelinit, korpohüminit ve framboidal pirit (c), (d); Ülminit ve densinitler ile funginit, e; Korpohüminit, gelinit, funginit ve inertodetrinit, (f); Gelinit ve makrinit, (g), (h); Ultraviyole ışık altında tekstinit ve telohüminit mase-rallerinin görünümü.

2.3. Kömürlerin Kimyasal Özellikleri

Çilhoroz kömür sahası kömür ve karbonatlı şeyl örneklerinin kimyasal (proximate) ve elementer (ultimate) analiz sonuçları ile üst ısıl değerleri Tablo 2' de verilmiştir. İnceleme alanına ait kömür örneklerinin nem değerleri %8.35-12.67 (ortalama %10.38) aralığında değişmektedir. Karbonatlı şeyl örneklerinde ise nem değeri

kömürlere göre daha düşüktür (ortalama %8.4) (Tablo.2).

Bilindiği gibi kömür bileşimindeki mineraller, turba oluşum ortamına taşınarak gelir veya ortam ürünleridir. Bunlara çoğunlukla organizma kavrıkları veya iskeletsel parçalar da eşlik eder. Ayrıca ikincil süreçler sonucunda oluşan mineraller de kırık ve çatlaklar içinde izlenebilir. Özellikle kömürün ekonomik değerini etkilemekle birlikte, ortamsal yorum ve kömürleşme sürecinin değerlendirilmesi için de önemli olan kül içeriği, kömürlerde %6.9-22.38 (ortalama %17.01) arasında iken karbonatlı şeyl örneklerinde oldukça yüksektir (>% 50).

Uçucu madde oranı kömürlerde %36.45–46.77 aralığında (ortalama %40.40), sabit karbon değerleri % 36.07-52.05 (ortalama %42.59) aralığında, üst ısı değerleri ise 5649-9630 Kcal/kg arasında değişmektedir (Tablo 2).

2.4. Kömürlerin elementer özellikleri

Kömür örneklerinin kuru külsüz bazda; karbon değerleri %69.26–82.11 (ortalama %78.28), hidrojen değerleri %2.98-4.23 (ortalama %3.95), azot %1.16-1.44 (ortalama %1.47), oksijen %10.19-23.98 (ortalama %17.03) aralığında değişmektedir (Tablo 2). İncelenen kömürlerin kükürt oranı ise düşüktür. Toplam kükürt değerleri kömürlerde %1.17- 2.08 arasında iken, (ortalama %1.5), karbonatlı şeyllerde %0.92-2.01 (ortalama %1.39) arasında değişir (Tablo 2). Bu da bataklıkta ya düşük sülfür getirmesi veya turba oluşumu sırasında sülfat indirgeyici bakterilerin asidik koşullarda yaşamaması ile ilgilidir [Amijaya & Littke, 2005; Cameron vd., 1984; Gruber & Sachsenhofer, 2001]. Bilindiği gibi başlıca sülfür kaynağı deniz suyudur ve bu nedenle incelenen kömürlerin deniz suyundan fazla etkilenmediği, deniz etkisinden uzak (limnik), yükselmiş bataklıklarda çökelmiş söylenebilir [Sia & Abdullah, 2012]. Bu durum sinjenetik pirit oluşumlarının kömürde az miktarda (%1-3) gözlenmesini de açıklamaktadır.

Tablo 2. Çayırli-Çilhoroz kömürlerinin kimyasal ve elementer analiz sonuçları.

Örnek No	Toplam Nem <i>kkb</i> (%)	Kül İçeriği <i>kkb</i> (%)	Uçucu Madde <i>kkb</i> (%)	Sabit C <i>kkb</i> (%)	S <i>kkb</i> (%)	C <i>kkb</i> (%)	H <i>kkb</i> (%)	N <i>kkb</i> (%)	O <i>kkb</i> (%)	H/C	O/C	Üst Isıl Değer	
												Kcal/kg	MJ/kg
G-2	0.92	56.05	27.54	16.41	0.92	41.23	0.63	2.66	54.56	0.18	0.99	882	3.69
G-4	6.82	53.53	32.4	14.07	2.01	49.99	1.5	2.58	43.92	0.36	0.66	1128	4.72
G-5	10.16	19.32	38.5	42.18	1.42	69.26	3.98	1.36	23.98	0.69	0.26	6232	26.09
G-6	11.46	54.26	28.27	17.47	1.24	46.81	0.87	2.69	48.39	0.22	0.78	974	4.08
G-7	9.77	13.7	46.77	39.53	1.28	78.52	3.93	1.44	14.83	0.60	0.14	5701	23.87
G-8	11.26	22.1	36.45	41.45	1.38	80.37	2.98	1.46	13.81	0.44	0.13	5649	23.65
G-9	8.69	22.14	39.53	38.33	1.17	79.93	3.69	1.58	13.63	0.55	0.13	9630	40.32
G-10	8.35	22.38	41.55	36.07	1.47	76.41	3.42	1.53	17.17	0.54	0.17	9477	39.68
G-11	12.67	6.9	41.05	52.05	2.08	82.11	4.23	1.39	10.19	0.62	0.09	6664	27.90
G-12	11.16	12.53	38.97	48.5	1.98	81.37	4.01	1.16	11.48	0.59	0.11	6487	27.16
Standart	ASTM D 7582	ASTM D 7582	ASTM D 3175		ASTM D 4239	ASTM D 5373				ASTM D 5865			

4.5. Kömürlerin elementer özellikleri

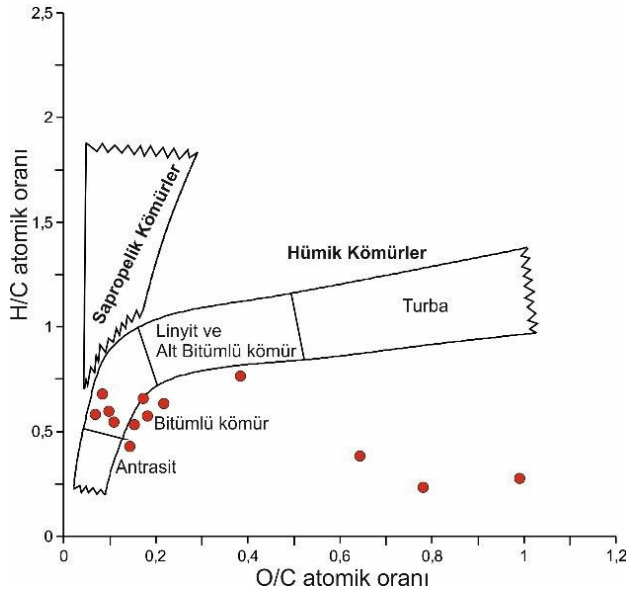
İncelenen kömür örneklerinde ölçülen ortalama hüminit (vitrit) yansıma değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Rort değerleri %0.53-0.59 aralığındadır (ortalama %0.56). Bu değerler incelenen örneklerin henüz olgunlaşmadığı ve diyajenez aşamasında olduğunu göstermektedir.

Kömürlerin sınıflandırılmasında ve organik maddece zengin kayaçların kerojen tiplerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan Van Krevelen diyagramında [Tissot & Welte, 1984] incelenen örneklerin H/C ve O/C değerlerine göre dağılımları Şekil 4’de görülmektedir. Elementer analiz sonuçlarından hesaplanan H/C oranları 0.44-0.69 ve O/C oranları ise 0.11-0.26 dir (Tablo 2). Bu değerler incelenen kömür örneklerinin “Bitümlü kömür” kömürleşme aşamasında olduğuna işaret etmektedir (Şekil 4). Kömürün kimyasal özelliklerini ve üst ısıl değerlerini esas alan UN-ECE ve Alman DIN sınıflamalarına göre “Bitümlü kömür alt bitümlü kömür”, ISO (2009)

sınıflamasına göre “Kahverengi Kömür”, ASTM. (1991) sınıflamasına göre ise “Yüksek uçuculu A bitümlü kömür” düzeyindedir.

Petrografik bileşim özelliklerine göre incelenen kömürlerde hüminit maseral grubunun ve bunlardan ise detrohüminit ve telohüminitlerin ege-men oluşu, detritik linyitler olarak tanımlanmasını sağlamaktadır (Şekil 5.a). Başlıca textinit ve ulminit içeren kömürler (telohüminit alt grubu) ise genellikle ksilitik kömürler olarak tanımlanmaktadır [Teichmüller, 1989]. Çilhoroz kömürlerinde tekstinit oranları ulminitlere göre daha azdır (Tablo 1). Bu özellik bataklıkta jelleşme derecesi artışı ile birlikte ulminit oranının artması veya birincil organik maddenin otsu özellikleri ile ilişkilidir. Ancak jelleşme oranı (GI) bu kömürlerin oluşumu sırasında çok yüksek olmadığı için (0.62-1.17), bitkisel malzemelerin başlıca otsu veya düşük selüloz oranlı odunsu bileşenlerden olduğu söylenebilir. Mineral madde oranlarının da detritik kömürlere göre düşük

olmasından dolayı (%2-7) Çilhoroz kömürlerini “detritik bileşen içeren ksilitik kömür” olarak adlandırmak daha doğru olacaktır.



Şekil 4. İncelenen kömürlerin kömürleşme tipini gösterir Van Krevelen diyagramı.

5. Paleo Çökelim Ortamı ve Fasiyes Özellikler

Tüm kömür oluşumlarının başlangıç aşaması olan turbalaşma süreci başlıca, oluşum sırasındaki çökelim ortamının topografyası, fiziko-kimyasal özellikleri ve biriken organik maddelerin tipi ile ilgili bilgiler kullanılarak modellenmektedir [Calder vd., 1991; Diessel, 1986-1992; Kalkreuth vd., 1991; Kalaitzidis vd., 2004; Stach vd., 1982; Taylor vd., 1998; Teichmüller vd., 1989]. Kömür fasiyesi ise, başlıca turbanın oluştuğu çökelim şartlarına bağlı olup, maseral ve mineral madde tipleri ile bunlara ait oranlar bu kapsamda değerlendirilmesi gereken parametrelerdir [Flores, 2002; Stach vd., 1982; Suarez-Ruiz vd., 2012; Taylor vd., 1998].

Çilhoroz kömür örneklerinin detaylı maseral bileşim özellikleri Mukhopadhyay vd., (1989) ve Kalkreuth vd., (1991) tarafından oluşturulan üçgen diyagramlara göre yorumlandığında limnik ve kısmen limno-telmatik ortam şartlarında

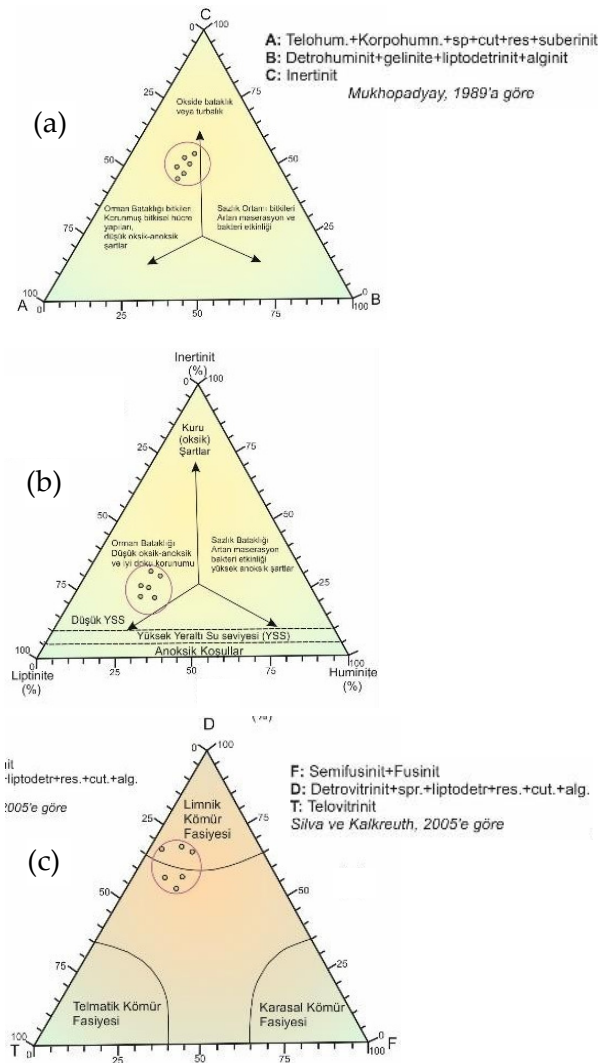
çökeldiğini göstermektedir (Şekil 5.a, b, c). İncelenen kömür örneklerinin ABC diyagramındaki dağılımına göre limno-telmatik turba oluşumunun düşük değerli anoksik ve genellikle de suboksik-oksik şartlarda geliştiği söylenebilir (Şekil 5.a). Makrinit ve inertinit maserallerinin örneklerdeki bolluğu ise bu sonucu doğrularken, turbalaşma sırasındaki havza için hareketler ve organik yığılmanın parçalanıp, tekrar kömürleşme sürecine katılmış olabilir. Bileşimde ülnit maserallerinin tekstinitlere göre daha bol olması (ortalama %13) anoksik şartlardaki jelleşmenin artışı ile açıklanabileceği gibi, bataklık ortamında çökelen bitkilerin birincil özelliklerini de yansıyor olabilir [Cameron vd., 1984]. Bileşimde gelinit maseralinin düşük oranda bulunması (Tablo 1) jelleşme etkisinden ziyade bitkisel bileşimi düşündürmüştür. Özellikle, kozalaklı ağaç ormanlarından itibaren oluşan kömürlerde gymnospermler, angiospermlere göre daha iyi korunur, bu nedenle de daha bol telohüminit maserali görülür [Dehmer, 1995]. Sazlık turbalı ve bunlardan itibaren oluşan kahverengi kömürler ise daha zayıf ligninli doku ve selüloz içerirler [Cameron vd., 1984; Teichmüller vd., 1998] ve bu da yapısız maseraller (Detrohüminit) şeklinde petrografik bileşimde izlenir. İncelenen örneklerde olduğu gibi detrohüminit maseral alt grubunda densinitlerin atrinitlere göre daha bol oluşu, odunsu bileşenlerin kök parçaları veya yapraklarının turbalaşma sürecindeki aerobik şartlarda biyokimyasal değişimleri ile gerçekleşebileceği gibi, kömürleşme sırasında atrinitlerin densinite dönüşümü ile de açıklanabilir. Ayrıca atrinit ve densinit maseralleri turba ve kahverengi kömürlerin ağaçsız bataklık ortamını yansıtan başlıca bileşenler olarak tanımlanmaktadır [Gürdal, 2011; Iordanidis & Georgokapoulos, 2003; Sykorova vd., 2005; Teichmüller vd., 1998].

Bahsedilen bu özellikler ortamdaki jelleşme veya bitkisel malzemenin birincil özelliğini yansıtmaktadır. Mavridou vd., (2003) vır Teichmüller (1989)'in de belirttiği gibi korpohüminit maserallerinin düşük oranlarda bile olsa bulunuşu,

odunsu malzemelerin turbalaşmaya katıldığıını gösterir [Cohen vd., 1984; Georgakopoulos & Valceva, 2000; Taylor vd., 1998]. Örneğin, orman bataklığında çökelen kömürlerde belirlenen lip-tinitlerde kütinit, süberinit, liptodetrinit, resinit, sporinit ve flourinit görülmektedir ve Çilhoroz kömürleri için de aynı durum söz konusudur (Tablo 1) [Flores, 2002]. Sporinitler ise bileşimde %8-14 arasında değişmektedir ve bu tip kömür-lerin sadece orman bataklıkları değil, sazlık alan-lardaki bitkisel yığılımlar ile de ilgili olduğu bi-linmektedir [Stach vd., 1982]

Maseral birliktelikleri ve oranlarına göre bu kö-mürlerin oluşum ortamları; açık orman-sazlık bataklığıdır. Buradaki ortamsal özellikler su ge-lişi/korunumu ve mevsimsel etkiler nedeniyle geçişli olarak bulunmaktadır (Şekil 5.b). Silva ve Kalkreuth vd. (1991) tarafından hazırlanan TDF üçgen diyagramına göre de incelenen kömürler "Limnik ortam" özelliklerine daha yakın görün-mektedir (Şekil 5.c).

Fasiyes analizinde en yaygın kullanılan paramet-relerden olan ve Avustralya'daki Permiyen yaşlı kömürler için Diessel (1986) tarafından geliştirilen jelleşme indeksi (GI) ve doku koruma indeksi (TPI) diyagramı jelleşmiş ve korunmuş bitkisel malzeme oranı, malzeme cinsi, basen gömülme tarihçesi ve hümfikasyon derecesi ile bitkisel dokuların korunma derecesini göstermektedir. Ancak, bazı araştırmacılar tarafından belirtildiği gibi [Amijaya & Littke, 2005; Crosdale, 1993; Mo-re & Shearer, 2003; Scott, 2002; Wüst vd., 2001] Tersiyer yaşlı kömürler Permiyen kömürlerine göre farklı çökelim ortam özellikleri ve bitkisel özelliğe sahiptir ve Diessel (1986, 1992) tarafın-dan önerilen bu formüller Tersiyer yaşlı kömür-lerin paleo-çökelim ortamı yorumu için genel-likle yeterli ve uygun değildir [Sen vd., 2016]. Bu nedenle Tersiyer yaşlı kömürler için birçok araş-tırmacı tarafından farklı formüller ve değerlen-dirme sistemleri uygulanmaktadır [Bechtel vd., 2005; Flores, 2002; Kalaitzidis vd., 2004; Kalkre-uth vd., 1991; Lamberson vd., 1991; Sen vd., 2016; Sing vd., 2017; Stock vd., 2016]



Şekil 5. İncelenen kömürlerin çökelim şartlarını ifade eden üçgen diyagramlar.

Çilhoroz kömür sahası örneklerinin Doku Ko-ruma İndeksi (TPI) değerleri 0.43-0.76 arasında değişmektedir. İncelenen örneklerde jelleşme in-deksi (GI) değerleri 0.62-1.17 arasında iken, ye-raltısuyu etki indeksi (GWI) değerleri %1.40-2.48, bitkisel indeks (VI) değerleri de %0.39-0.74 arasında değişir (Tablo 1, Şekil 6, 7)

Doku koruma indeksinin düşük olması ya bitkisel malzemenin tipine (gymnospermlere göre daha bol angiosperm oranı, yüksek otsu malzeme), bataklıktaki düşük doku korunma şartlarına (yüksek bakteriyal aktivite, yüksek pH, yavaş sübidans oranı) veya yavaş ilerleyen hümfikasyona bağlı olarak gelişmiştir [Jordanidis & Georgakopoulos, 2003; Kolcon & Sachsenhofer, 1999; Singh vd., 2017]. Ancak, özellikle incelenen örneklerde de olduğu gibi bazı yüksek TPI değerleri (>0.60) kömürlerin turba çökelişi sırasında su miktarı veya akış rejimindeki değişim veya geçiş ortam şartlarından etkilendiğini göstermektedir [Diessel, 1992; Singh vd., 2017]. GI indeksi ise su seviyesi ve bataklığın ıslak veya kuru oluşu, bunun devamlılığı ile ilgilidir. Yüksek jelleşme indeksi genellikle yüksek su seviyesini, asidik olmayan ortam, bakteriyal faaliyetler ve jelleşmeyi belirtirken, düşük GI değeri (<1) düşük su içeriği veya bitkisel malzemenin odunsu özelliği ile ilgilidir. İncelenen örneklerdeki GI değerleri çökeliş sırasında su kolonundaki kısa süreli değişime işaret etmektedir. Genel olarak, düşük TPI (<1) ve yüksek GI değerine sahip kömürler orman bataklığı veya ağaçsız-otsu-bitkilerin yoğun olduğu sazlık alanlardaki bataklıklardan oluşmaktadır [Diessel, 1992; Singh vd., 2017]. Ayrıca, yüksek detrohüminit oranları, düşük VI değerleri de çoğunlukla bataklıkta biriken malzemenin sazlık alanlardaki bitkileri belirtir [Bechtel vd., 2005; Karayiğit vd., 2017; Singh vd., 2017]. Düşük oranlarda belirlenen resinit, süberinit, ve kütinitler de bataklıktaki bitkilerin daha düşük selüloz oranına sahip olduğunu gösterirler [Singh ve diğ., 2017].

GI ve TPI fasiyes diyagramlarına göre de incelenen kömürler açık orman bataklığı ve limnik ortam şartlarında oluşmuştur (Şekil 7). Özellikle turbalıkta otsu bitkilerin (sazlık alanlarda) egemen olduğu söylenebilir. Bu ortamsal özelliklere destek olabilecek veriler Petersen & Ratanasthien (2011) tarafından önerilen iki yeni fasiyes oranı olan Islaklık İndeksi (WI) ve doku İndeksi (TI). Bu araştırmacılara göre hücrenel

dokularının yapısal özelliklerinin korunması sadece odunsu bitkileri işaret etmez, aynı zamanda yeraltısuyu tablası, ortamın fiziko-kimyasal özellikleri, oksidasyon-redüksiyon şartları ile bitkisel bileşenin özelliklerini de kapsar. İncelenen örneklerin TI değerleri 1.13-1.91 ve WI değerleri ise 0.57-0.90 aralığındadır. Yüksek TI ve düşük-orta WI değeri, paleobataklıktaki düzensiz su rejimini belirtmektedir. Ancak bataklığa gelen ve biriken bitkisel malzeme özellikleri (otsu, sazlık ortamı tipi bitkiler) bu veriyi daha çok etkilemiştir. Dahası, düşük WI ile düşük mineral madde oranı ve kömür damarı içinde homojenliği birikim sırasında nispeten durağan bataklık koşullarını da işaret etmekte olup [Calder vd., 1991], Çilhoroz kömürlerinin işletilen düzeyleri nispeten az ara kesmeli, homojen bir sekans özelliği göstermektedir. Kömür damarı içinde killi, karbonatlı bant oranı oldukça düşüktür ve bu da kömürlerin oluşumu sırasında su enerjisinin fazla değişmediği, dışardan inorganik malzemenin gelebileceği koşulların oluşmadığı ve tekdüze bir bitkisel yığılma olduğunu gösterir

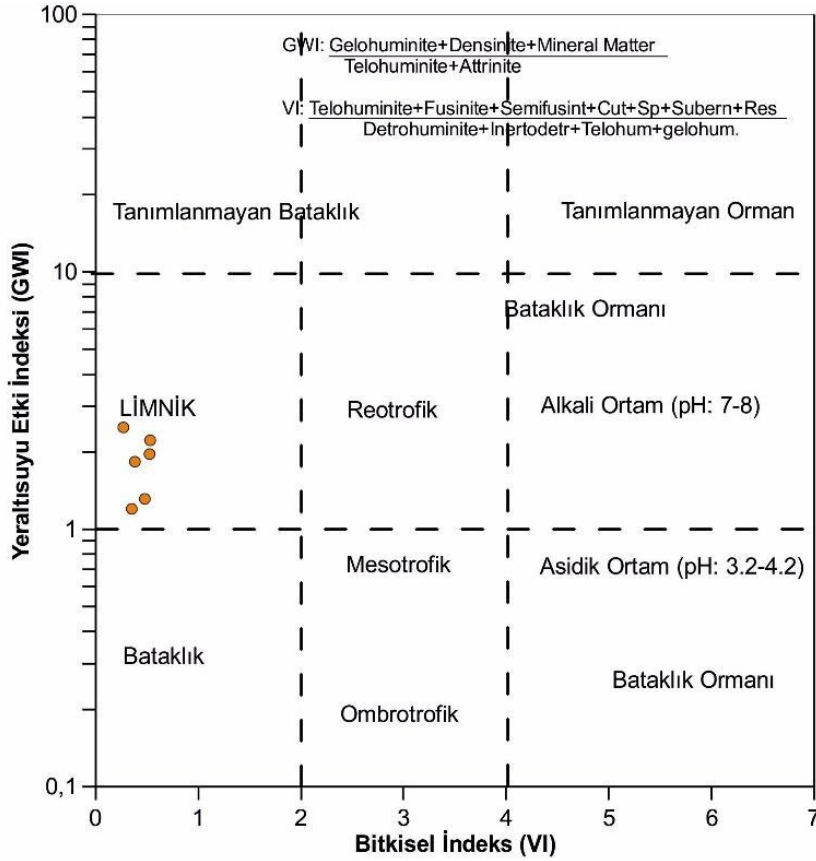
Kömür fasiyes değerlendirmesi için ayrıca VI-GWI diyagramı da yaygın olarak kullanılmaktadır. Calder vd. (1991) tarafından Nova Scotia Westafaliyen kömürleri için geliştirilen bitkisel indeks (VI) ve yeraltısuyu indeksi (GWI) parametreleri kömür oluşum ortamındaki özellikleri ifade etmektedir [Calder vd., 1991]. Bu diyagramda Çilhoroz kömür örnekleri limnik ortam alanına düşmektedir (Şekil 6). Düşük VI değerleri, yüksek telohüminit, yüksek detrohüminit oranları ve düşük TPI değerlerine göre otsu organik madde varlığına işaret etmekte olup, düşük oranda textinit, semifüzinit ve füsinit bileşenleri de daha az oranda odunsu bileşenin turbalaşmaya katkıda bulunduğunu gösterir. Turba oluşumu sırasında asidik olmayan koşullar kömürler ve kömürlü kilaşları ile karbonatlı-killi kömür düzeylerindeki iyi korunmuş kalsiyum karbonat bileşimli fosil kavkılarının bulunuşu ile de izlenir [Diessel, 1992; Teichmüller vd., 1998].

Kömür damarı alt düzeylerinde gözlenen gastropod kavkılı kömürlü killer de alkalın ortam şartlarını destekleyen bir diğer veridir.

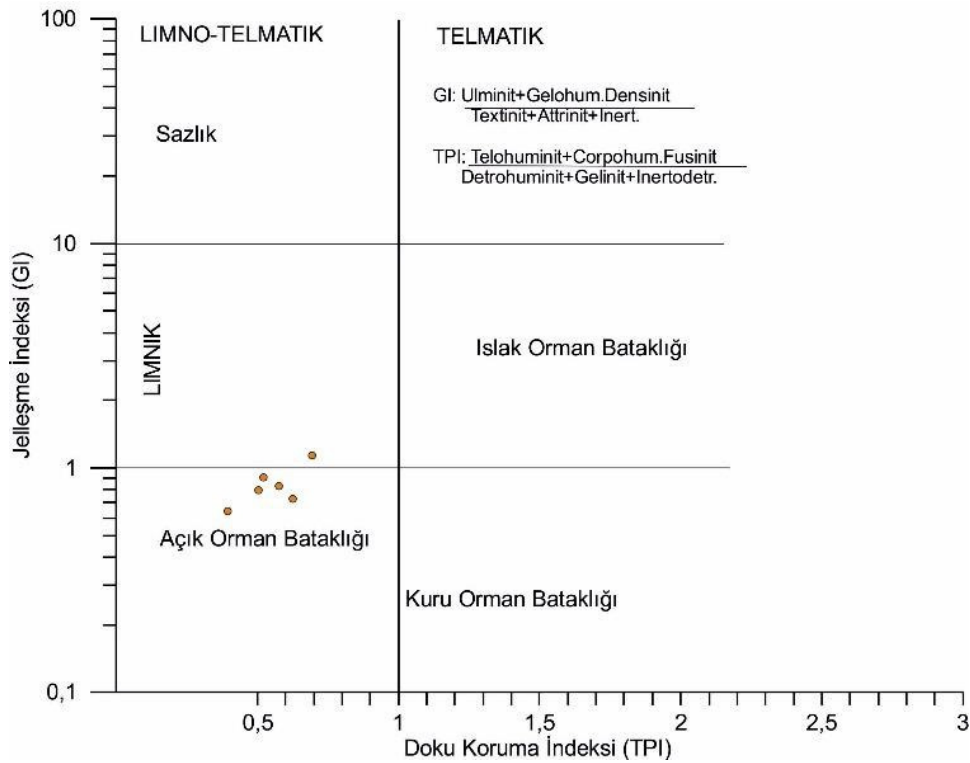
Kömürlerde düşük-orta kükürt içeriği çökelim sırasındaki deniz suyunun etkisine dair bir veridir [Stach vd., 1982]. Diğer taraftan, deniz etkisi olmasa da tatlı sulu ortamlarda yüksek kükürt oranı görülebilmektedir [Bechtel vd., 2005; Gürdal & Bozcu, 2011; Hoş- Çebi, 2017]. Bileşimde düşük oranda pirit, kül, kükürt olması ortamın deniz suyundan veya bataklık dışından taşınan inorganik bileşenlerden fazla etkilenmediğini, alkali bir gösel ortam olduğunu gösterir [Amijaya & Littke, 2005; Cameron vd., 1984; Diessel, 1992; Gruber & Sachsenhofer, 2001; Taylor vd., 1998]

İncelenen kömürlerin paleoçökelim ortamında bataklık egemen olarak otsu bitkiler tarafından doldurulmuştur ve çökelim ortamı çoğunlukla tatlı su ile kaplı bir bataklık (Şekil 6, 7). Petrografik ve mineralojik verilere göre bu ortam açık su orman bataklığı-sazlık bataklığı özelliğinde olup, mevsimsel değişimlerin de etkisi ile su düzeyinin zaman zaman değişimi, bataklıktaki çökelimle eş zamanlı gelişen yapısal hareketler veya kütle hareketleri nedeniyle özellikle makrinit ve densinit gibi bileşimdeki egemen maseraleri oluşturmuştur. Tüm organik petrografik değerlendirmelere göre hümodetrinitçe zengin kömürlerin, turbalaşma sırasında kolaylıkla parçalanabilen (lignince fakir ve selülozca zengin) otsu bitkiler ve angiosperm kaynağı odunlardan oluştuğu söylenebilir. Ayrıca çökelim ortamı atmosferik yağışlara bağlı su seviyesi değişimi gösteren ombrojenik koşullar ile ılıman iklim şartlarının hakim olduğu (bol fusinit maserali nedeniyle) bir ortamdır [Silva vd., 2008]. Kömürleşme genellikle suboksik-anoksik, alkalın ortam, yüzeysel akış etkisinin yeraltısuyuna göre yüksek olduğu ve yavaş gömülme oranıyla, otoktondan hipotoktona kadar değişen şartlarda

meydana gelmiştir [Singh vd., 2017; Sykorova vd., 2005; Yalçın Erik, 2011]. Kömürün bileşiminde azot oranı (ortalama %1.47) ve kükürt oranı düşüktür, bu da deniz suyu etkisinin az olduğuna işaret eder [Chou, 2012]. Doku koruma indeksi değerleri ve düşük kül oranları otsu-sazlık ortamları ve selülozik organik bileşimi gösterir ki bu domlaşmış (yükselmiş) turbanın merkezi kısımlarında ve düşük hızla çökelen atmosferik yağışlarla beslenen bataklıklarda oluşmuştur (Şekil 6). Bu tip ortamlarda turbalaşma ve hümfikasyon düşük hızlı gelişmektedir [Amijaya & Littke, 2005; Diessel, 1992; Gruber & Sachsenhofer, 2001; Sia & Abdullah, 2012; Taylor vd., 1998]. Düşük TPI ve düşük kül içeriği özellikle Tanjung Enim kömürleri (Sumatra Baseni, Endonezya) ve Maryville kömürlerinde de (Yeni Zelanda) benzer şekilde tanımlanmıştır [Amijaya & Littke, 2005; Crosdale, 1993; Kalkreuth vd., 1991]. Çilhoroz kömürleri petrografik ve kimyasal bileşim olarak, çek-ayır havza özelliğinde olan ve Miyosen yaşlı kömürlerin bulunduğu Mur-Mürz fay sistemi (Doğu Alpler, Avusturya) kömürlerine de benzerlik göstermektedir [Sachsenhofer vd., 2003]. Genel anlamda Çilhoroz kömürleri Türkiye'deki Tersiyer yaşlı kömürlere mineralojik ve petrografik olarak benzerlik göstermekle birlikte [Gürdal & Bozcu, 2011; Karayığit vd., 1999; Karayığit vd., 2015; Palmer vd., 2004; Toprak, 2009; Tuncalı vd., 2002; Yalçın Erik & Ay, 2013] volkanik aktivite olmayan ve denizden etkilenmeyen, çek ayır havzalarındaki kalıntı dağ arası göllerde yüzeysel su kaynaklarından itibaren oluşan bir limnik kömür özelliği sunar.



Şekil 6. İncelenen kömürlerin paleoortam parametreleri ile çökelim şartlarını gösteren GWI-VI diyagramı.



Şekil 7. İncelenen kömürlerin GI-TPI diyagramı.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada incelenen kömürler Erzincan İline bağlı Çayırılı ilçesinin kuzey doğusunda, Çilhoroz köyü civarında olup, bu bölge dahilinde yerel yakıt ihtiyacını karşılayan tek kömür sahasıdır. İnceleme alanındaki kömürler başlıca marn, kumtaşı, kumlu marnlardan oluşan Miyosen yaşlı Neftlik Formasyonu'nun taban seviyesinde, orta-kalın damar kalınlıklı (1.5-4 m), ince kil, kömürlü kil, karbonatlı şeyl bantlı ve yanal olarak karbonatlara geçişli olarak yer almaktadır. Kömürlü istifte, mat siyah renkli kömür bantları, gri-koyu gri ve kahverenkli kömürlü düzeyler ve daha ince parlak siyah kömür bantları ardalı olarak görülür. Kömürler prizmatik kırılma yüzeyleri ile karakteristik olup, bazı düzeylerde mineralojik ve petrografik özelliklerden dolayı dağılgan ve mat özellik gösterir. Kömürde egemen litotip vitren, klaro-düren ve düren ardalıdır. Egemen maseral grubu hüminit (ortalama %42.5) olmakla birlikte liptinit ve inertinit maseralleri de bulunmaktadır. Kömürlerin en önemli bileşeni inertinit maseral grubunun en baskın türü olan 'makrinit' lerdir. Liptinit grubu içinde sporinit'ler, hüminit grubunda ülminit ve densinitler, inertinit grubunda ise makrinit ve inertodetrinitler en bol bulunan maserallerdir. İncelenen kömürler özellikle orta-yüksek kalori değerli (havada kuru bazda üst ısıl değer ortalama 6920.1 Kcal/kg), düşük-orta oranda kül, içerikli (ortalama %14.43), düşük mineral madde içeriği (ortalama % 3.33) ve düşük nem (ortalama %10.4) ile düşük olgunlaşma derecesinden (ortalama Rmax %0.61) dolayı "düşük-orta kaliteli kömürler" olarak değerlendirilirken, elementer verilere göre "Bitümlü kömür", UN-ECE ve Alman DIN sınıflamalarına göre "Bitümlü kömür-alt bitümlü kömür", ISO sınıflamasına göre "Kahverengi Kömür", ASTM (1991) sınıflamasına göre ise "Yüksek uçuculu A bitümlü kömür" düzeyindedir. Petrografik bileşim özelliklerine göre de "detritik bileşen içeren ksilitik kömür" olarak tanımlanmıştır. İncelenen

örneklerde inorganik madde oranı oldukça düşük olup, oranca en fazla olanlar pirit ve killer, daha sonra ise karbonat (kalsit) ve sülfatlı (jips) minerallerdir. Paleoçökelim ortamında bataklık egemen olarak otsu bitkiler tarafından doldurulmuştur ve çökelim ortamı çoğunlukla tatlı su ile kaplı bir bataklık (limnik). Petrografik ve mineralojik verilere göre bu ortam açık su orman bataklığı-sazlık bataklığı özelliğinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Katkı Belirtme

Bu çalışma M-509 nolu CÜBAP projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynakça

- Akgün, F., Olgun, E., Kuşçu, İ., Toprak, V., Göncüoğlu, M.C., (1995), New evidence on the stratigraphy, depositional environment and age of 'Oligo-Miocene' cover rocks of the Central Anatolian Crystalline Complex. *Bull. Turkish Assoc Petr Geol.*, 6: 51-68.
- Akkuş, M., (1964), Erzincan-Tercan Bölgesi Detay Petrol İstikşaf Etüdü Raporu. *MTA Raporu*, No: 4041, Ankara.
- Akpınar, Z., Gürsoy, H., Tatar, O., Büyüksaraç, A., Koçbulut, F., Piper, J., (2016), Geophysical analysis of fault geometry and volcanic activity in the Erzincan Basin, Central Turkey: Complex evolution of a mature pull-apart basin, *Journal of Asian Earth Sciences* 116, 97-114.
- Aktimur, H.T., (1986), Erzincan, Refahiye ve Kemah Dolayının Jeolojisi. *MTA Raporu*, No: 7932, Ankara.
- Aktimur, H.T., Sarıarslan, M., Keçer, M., Turşucu, A., Örcen, S., Yurdakul, M. E., Mutlu, G., Aktimur, S. ve Yıldırım, T., (1995), Erzincan Dolayının Jeolojisi. *MTA Raporu*, No:9792, Ankara.
- Akyol, Z. & Birgili, Ş., (1966), Neftlik-2 Kuyu Bitirme Raporu. *MTA Raporu*, No: 4387, Ankara.
- Akyol, Z., (1968), Neftlik-3 Kuyu Bitirme Raporu. *MTA Raporu*, No: 4388, Ankara.
- Amijaya, H., & Littke, R., (2005), Microfacies and depositional environment of Tertiary Tanjung Enim low

- rank coal, South Sumatra Basin, *Indonesia. Int. J. Sur. Of Coal Geol.*, 261, (3-4), 197-221.
- Arpat, E., (1964), Erzincan'ın Çayırılı ilçesinin Civarının ve Uzak Kuzeyinin Genel Jeolojisi ve Petrol İmkanları. *MTA Raporu*, No: 4046, Ankara.
- ASTM, (1983), *Annual book of ASTM standards*. Gaseous Fuels; Coal and Coke (D-388-82, D-2798-79, D-3172-73, D-2799-72, D-3174-82, D-3175-82): 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103, 05.05, 520p.
- ASTM, (1991), *Annual book of ASTM standards*, Gaseous Fuels; Coal and Coke, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103, 05.05, 520p.
- Ay, F., & Yalçın Erik, N., (2015), Fulvic and Humic Acid Substances And Potential Raw Material Of Some Tertiary Turkish Coals From Anatolia, Turkey. *The World Multi disciplinary Earth Sciences Symposium – WMESS*, 2015, Prag-Çek Cumhuriyeti.
- Bechtel, A., Saschenhofer, R.F., Zdravkov, A., Kostova, I., and Gratzner, R., (2005), Influence of floral assemblage, facies and diagenesis on petrography and organic geochemistry of the Eocene Bourgas coal and the Miocene Maritza-East lignite (Bulgaria). *Org. Gechem.*, 36, 1498-1522.
- Bechtel, A., Karayığit, A.İ., Sachsenhofer, R.F., İnaner, H., Christanis, K., Gratzner, R., (2014), Spatial and temporal variability in vegetation and coal facies as reflected by organic petrological and geochemical data in the Middle Miocene Çayırhan coal field (Turkey). *Int. J. Coal Geol.*, 134-135, 46-60.
- Birgili, Ş., & Yurdakul, M., (1971), Çayırılı Neftlik-4 kuyu bitirme raporu. *MTA Raporu* No: 4822, Ankara.
- Bulut, C., (1965), Erzincan İ43 b3, İ44d1, 143 c2 paftalarını kapsayan bölgenin detay petrol etüdü raporu. *MTA Raporu* No: 4140, Ankara.
- Bulut, C. & Akyol, Z., (1966), Çayırılı Neftlik-1 kuyu bitirme raporu. *MTA Raporu* No: 4386, Ankara.
- Calder, J.H., Gibling, M.R., and Mukhopadhyay, K., (1991), Peat formation in a Westphalian B piedmont setting, Cumberland basin, Nova Scotia: implications for the maceral-based interpretation of rheotrophic and raised paleomires. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 162, 283-298.
- Cameron, A.R., Kalkreuth, W.D., Koukouzas, C., (1984), The petrology of Greek brown coals. *Int. J. Coal Geol.*, 4(3), 173-207.
- Chou, C.L., (2012), Sulfur in coals: a review of geochemistry and origins. *Int. J. Coal Geol.*, 100, 1-13.
- Cohen, A.D., Spackman, W., Deben, P., (1984), Occurrence and distribution of sulfur in peat forming environment of southern Florida. *Int. J. Coal Geol.*, 4, 73-96.
- Crosdale, P.J., (1993), Coal maceral ratios as indicator of environment of deposition: do they work for ombrogenous mires? An example from the Miocene of New Zealand. *Org. Gechem.*, 20, 797-809.
- Dai, S., Ren, D., Li, S., Zhao, L., Zhang, Y., (2007), Coal facies evolution of the main minable coal-bed in the Heidaigou Mine, Jungar Coalfield, Inner Mongolia, northern China. *Science in China D. Earth Sci. Rev.*, 50 (suppl. II), 144-152.
- Dehmer, J., (1995), Petrological and organic geochemical investigation of recent peats with known environments of deposition. *Int. J. Coal Geol.*, 28, 111-138.
- Demirmen, F., (1965), Çayırılı ilçesi (Erzincan civarı) genel jeolojisi ve petrol olanakları. *MTA Raporu* No: 4845, Ankara.
- Deveciler, E., Canpolat, M., Küçükefe, Ş., Karabıyık, N., Kar, H., Ayaz, E., Ünay, E., Tuzcu, S., Karabıyıkoğlu, M., Örçen, S., Genç, S. ve Erdoğan, K., (1993), Çayırılı dolayının (Erzincan ili) jeolojisi. *MTA Raporu* No: 9672, Ankara.
- Diessel, C.F K., (1986), The correlation between coal facies and depositional environments. *Advances in the Study of the Sydney Basin, Proceedings of 20th Symposium*, The University of Newcastle, pp: 19-22
- Diessel, C.F.K., (1992), *Coal-Bearing Depositional Systems*, Springer Verlag, Berlin.
- Flores, D., (2002), Organic facies and depositional palaeoenvironment of lignites from Rio Maior Basin (Portugal). *Int. J. Coal Geol.*,
- Gedik, A., (1976), Doğu Anadolu'da açılan stratigrafik istikşaf (açınsama) sondajları, *Yeryuvarı ve İnsan*, 3, 3, 31-35.
- Gedik, A., (2008), Kemah-Erzincan Çayırılı yöresi Tersiyer Birimlerinin Jeolojisi ve Petrol Kaynak Kaya Özellikleri, *MTA Dergisi*, 137, 1-26.
- Georgakopoulos, A. & Valceva, S., (2000), Petrographic characteristics of Neogene Lignites from the

- Ptolemais and Servia basins, *Northern Greece. Energy Sources*, 22, pp. 587–602.
- Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Şentürk, K., Özcan, A., Uysal, S. ve Yalınız, M.K., (2000), A geotraverse across northwestern Turkey: tectonic units of the Central Sakarya region and their tectonic evolution. In: *Bzkurt, E., Winchester, J.A. & Piper, J.D. (eds.) Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area. Geological Society, London, Special Publications*. 173, 139–162.
- Görür, N., Tüysüz, O., Şengör, A.M.C., (1998), Tectonic evolution of the central Anatolian Basins. *Int. Geol. Rev.*, 40, 831-850.
- Gruber, W., Sachsenhofer, R.F., (2001), Coal deposition in the Noric Depression (Eastern Alps): raised and low-lying mires in Miocene pull-apart basins. *Int. J. Coal Geol.*, 48, 89–114.
- Gürdal, G., &Bozcu, M., (2011), Petrographic characteristics and depositional environment of Miocene Çan coals, Çanakkale-Turkey, *Int. J. Coal Geol.*, 85, 143-160.
- Hoş-Çebi, F., & Korkmaz, S., (2013), Organic geochemistry and depositional environments of Eocene coals in northern Anatolia, *Turkey. Fuel*, 113, 481-496.
- Hoş-Çebi, F., (2017), Organic geochemical characteristics and paleoclimate conditions of the Miocene coals at the Çan- Duralı (Çanakkale), *Journal of African Earth Sciences*, 129, 117-135.
- Hökerek, S., & Özçelik O., (2015), "Organic facies characteristics of the Miocene Soma Formation (Lower Lignite Succession-KM2), Soma Coal Basin, western Turkey", *Energy Procedia*, vol.76, 27-32.
- I.C.C.P., (1998), International Committee for Coal and Organic Petrology, The new vitrinite classification. *Fuel* 77, 349–358.
- Iordanidis, A. & Georgakopoulos, A., (2003), Pliocene lignites from Apofysis mine, Amynteo basin, Northwestern Greece: petrographical characteristics and depositional environment. *Int. J. Coal Geol.*, 54, 57-68.
- ISO 7404-2, (2009), Methods for the Petrographic Analysis of Bituminous Coal and Anthracite—Part 2: Methods of Preparing Coal Samples. *International Organization for Standardization*, ISO, Geneva 8 pp
- ISO 7404-3, (2009), Methods for the Petrographic Analysis of Bituminous Coal and Anthracite—Part 3: Methods of Determining Maceral Group Composition. *International Organization for Standardization*, ISO, Geneva 4 pp.
- ISO 7404-5, (2009). Methods for the Petrographic Analysis of Bituminous Coal and Anthracite—Part 5: Methods of Determining Microscopically the Reflectance of Vitrinite. *International Organization for Standardization*, ISO, Geneva 11 pp.
- Kalaitzidis, S., Bouzinos, A., Papazisimou, S., Christanis, K., (2004), A short-term establishment of forest fen habitat during Pliocene lignite formation in the Ptolemais Basin, NW Macedonia, *Greece, Int. J. Coal Geol.*, 57, 243– 263.
- Kalkreuth, T., Kotis, T., Papanicolaou, C., Kokkinakis, P., (1991), The geology and coal petrology of a Miocene lignite profile at Meliadi Mine, Katerini, *Greece. Int. J. Coal Geol.*, 17 (1), 51–67.
- Kara-Gülbay, R. (2015) Organic geochemical and petrographical characteristics of coal bearing Oligo- Miocene sequence in the Oltu-Narman Basin (Erzurum), NE Turkey. *Int. J. Coal Geol.*, 149, 93-107.
- Karayığit, A.İ., Akgün, F., Gayer, R.A., Temel, A., (1999), Quality, palynology, and palaeoenvironmental interpretation of the Ilgin lignite, Turkey. *Int. J. Coal Geol.*, 38, 219–236.
- Karayığit, A.İ., 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, *Int. J. Coal Geol.*, 173, 110–128.
- Karayığit, A.İ., Oskay, R.G., Christanis, K., Tunoğlu, C., Tuncer, A., Bulut, Y., (2015), Palaeoenvironmental reconstruction of the Çardak coal seam, SW Turkey. *Int. J. Coal Geol.*, 139, 3–16.
- Ketin, İ. (1950) Erzincan ile Aşkale arasındaki sahanın (1/100.000)'lik 46/4 ve 47/3 paftalarının jeolojisine ait memuar. *MTA Raporu*, 1950, Ankara.
- Kolcon, I, & Sachsenhofer, R.F., (1999), Petrography, palynology and depositional environments of the Early Miocene Oberdorf lignite seam (Styrian Basin, Austria). *Int. J. Coal Geol.*, 41: 275–308.

- Kurtman F., (1962), Kemah Kömür Tuzlası bölgesinin petrol istikşaf etüdüne ait rapor. *MTA Raporu* No. 4849, Ankara.
- Lamberson, M.N., Bustin, R.M., Kalkreuth, W., (1991), Lithotype (maceral) composition and variation as correlated with paleowetland environments, Gates Formations, Northeastern British Columbia, Canada. *Int. J. Coal Geol.*, 18, 87-124.
- Luttig, G. & Steffens, P., (1976), Türkiye Oligosen-Paleosen paleocoğrafya atlasının açıklaması, *MTA radyoaktif mineraller ve kömür dairesi bilimsel yayın çevirileri*. Tercüme no.53, Ankara.
- Mavridou, E., Antoniadis, P., Khanaqa, P., Riegel, W., Gentzis, T., (2003), Paleoenvironmental interpretation of the Amynteon-Ptolemaia lignite deposit in northern Greece based on its petrographic composition. *Int. J. Coal Geol.*, 56(3-4), 253-268.
- Moore T., Shearer, J., (2003), Peat/coal type and depositional environment - are they related? *Int. J. Coal Geol.*, 56 (3-4), 233-252.
- Mukhopadhyay, P.K., (1989), Organic petrography and organic geochemistry of Texas Tertiary coals in relation to depositional environment and hydrocarbon generation. *Tex. Bur. Econ. Geol. Rep. Invest.*, 188, 68-78.
- Okay, A.I. & Tüysüz, O., (1999), Tethyan Stures of Northern Turkey. In: Durand B., Jolivet G., Horvath F., Serrane M (eds) *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension Within the Alpine Orogen*, *Geol. Soc., Lond. Spec. Publ.*, 156, 475-515.
- Oskay, R.G., Christanis, K., Inaner, H., Salman, M., Taka, M., (2016), Palaeoenvironmental reconstruction of the eastern part of the Karapınar-Ayrancı coal deposit (Central Turkey), *Int. J. Coal Geol.*, 163, 100-111.
- Palmer, C.A., Tuncalı, E., Dennen, K.O., Coburn, T.C., Finkelman, R.B., (2004), Characterization of Turkish coals: a nationwide perspective, *Int. J. Coal Geol.*, 60, 85-115.
- Petersen, H.I., & Ratanasthien, B., (2011), Coal facies in a Cenozoic paralic lignite bed, Krabi Basin, southern Thailand: Changing peat-forming conditions related to relative sealevel controlled watertable variations. *Int. J. Coal Geol.*, 87, 2-12.
- Pisoni, C., (1965), Tercan bölgesinin jeolojisi ve petrol olanakları. *MTA Raporu* No: 4446, Ankara.
- Roothan, Ph.J., (1940), Erzurum ve Erzincan vilayetlerindeki petrol jeolojisi araştırma raporu. *MTA Raporu* No:1248, Ankara.
- Sachsenhofer, R.F., Bechtel, A., Reischenbacher, D. Weiss, A., (2003), Evolution of lacustrine systems along the Miocene Mur-Murz fault system (Eastern Alps, Austria) and implications on source rocks in pull-apart basins, *Marine and Petroleum Geology*, 20 83-110.
- Scott, A.C., (2002), Coal petrology and the origin of coal macerals: a way ahead? *Int. J. Coal Geol.*, 50 (1-4), 119-134.
- Sen, S., Naskar, S., Das, S., (2016), Discussion on the concepts in paleoenvironmental reconstruction from coal macerals and petrographic indices, *Marine and Petroleum Geology*, 73, 371-391.
- Sia, S.G., & Abdullah, W. H., (2012), Enrichment of arsenic, lead, and antimony in Balingian coal from Sarawak, Malaysia: Modes of occurrence, origin, and partitioning behaviour during coal combustion, *Int. J. Coal Geol.*, 101, 1-15.
- Silva, M.B., Kalkreuth, W., Holz, M., (2008), Coal petrology of coal seams from the Leão- Butiá Coalfield, Lower Permian of the Paraná Basin, Brazil: implications for coal facies interpretations. *Int. J. Coal Geol.*, 73, 331-358.
- Singh, V.P, Singh, BD, Singh, A., Singh, M.P., Mathews, R.P., Dutta, S., Mahesh, V.A., Mishra, S.S., (2017), Depositional palaeoenvironment and economic potential of Khadsaliya lignite deposits (Saurashtra Basin), western India: Based on petrographic, palynofacies and geochemical characteristics, *Int. J. Coal Geol.*, 171-184.
- Stach, E., Mackowsky, M.-Th., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D. ve Teichmüller, R., (1982), *Stach's textbook of coal petrology*, *Gebrüder Borntraeger, Berlin*, 535p,
- Stchepinsky, V., (1940), Erzincan muntkası linyitleri ve hidrokarbürleri hakkında rapor. *MTA Raporu* No:1004, Ankara.
- Stock, A.T., Littke, R., Lücke, A, Zieger, L., Thielemann, T., (2016), Miocene depositional environment and climate in western Europe: The lignite deposits of the Lower Rhine Basin, Germany, *Int. J. Coal Geol.*, 157, 2-18

- Súarez-Ruiz, I., Flores, D., Filho, J.G.M., Hackley, P.C., (2012), Review and update of the applications of organic petrology: Part 1, Geological Applications, *Int. J. Coal Geol.*, 99, 54–112.
- Sykorova, I., Pickel, W., Christanis, K., Wolf, M., Taylor, G.H., Flores, D. (2005) Classification of huminite-ICCP system 1994. *Int. J. Coal Geol.*, 62 (1–2), 85–106.
- Şengör, A.M.C., (1980), Türkiye' nin neotektoniğinin esasları *Türkiye Jeoloji Kurumu yayını*, 40
- Tatar, O., Akpınar, Z., Gürsoy, H., Piper, J.D.A., Koçbulut, F., Mesci, B.L., Polat, A., Roberts, A.P., (2013), Palaeomagnetic evidence for the neotectonic evolution of the Erzincan Basin, North Anatolian Fault Zone, Turkey. *J. Geodynam.*, 65, 244– 258.
- Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R., Robert, P., (1998), *Organic Petrology*. Gebrüder Borntraeger, Berlin. 704 pp.
- Teichmüller, M., (1989), The genesis of coal from the viewpoint of coal petrology. *Int. J. Coal Geol.*, 12 (1–4), 1–87.
- Teichmüller, M., Taylor, G.H., Littke, R., (1998), The nature of organic matter – macerals and associated minerals. In: Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R., Robert, P. (Eds.), *Organic petrology*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 704 p.
- Temiz, H., (2004), The role of thrust ramp reactivation in pull- apart mechanism of the Erzincan basin, North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Geodinam. Acta*, 17 (3), 219–228.
- Tekin, T., (2002), Source rock potential and organic facies properties of the Oligo-Miocene deposits in the Pasinler- Horasan, Tercan-Aşkale basins (East-Anatolia), ODTÜ, *Doktora Tezi*, 297 s., Ankara.
- Tissot, B.P.&Welte, D.H., (1984), Petroleum Formation and Occurrence: *Springer-Verlag, Berlin*, 699 p.
- Toprak, S., (2009), Petrographic properties of coal seams in Turkey and their formation, *Int. J. Coal Geol.*, 78, 263-275.
- Tuncalı, E., Çifci B., Yavuz N., Toprak S., Köker A., Aycık H., Gençer A., Şahin N., (2002), Chemical and Technological Properties of Turkish Tertiary Coals, *MTA Yayınları*, Ankara.
- Türkiye Linyit Envanteri, (2003), *MTA yayınları*, 356 s.
- Wüst, R., Hawke, M., Bustin, R., (2001), Comparing maceral ratios from tropical peatlands with assumptions from coal studies: do classic coal petrographic interpretation methods have to be discarded?. *Int. J. Coal Geol.*, 48, 115–132.
- Yalçın Erik, N., (2010), Kangal (Sivas) Kömürlerinin Organik Jeokimyasal, Organik Petrografik ve Hidrokarbon Türüm Potansiyelleri, *TÜBİTAK Hızlı Destek Projesi*; Proje No:108Y111.
- Yalçın Erik, N., & Sancar, S., (2010), Relationship between coal-quality and organic-geochemical parameters: a case study of the Hafik Coal Deposits (Sivas Basin, Turkey), *Int. J. Coal Geol.*, 83, 396-414.
- Yalçın Erik, N., (2011), Hydrocarbon generation potential and Miocene–Pliocene paleoenvironments of the Kangal Basin (Central Anatolia, Turkey) *Journal of Asian Earth Sciences*, 42, 1146–1162
- Yalçın Erik, N., & Ay, F., (2013), Coal Petrography and Depositional Environments Relationship of the Tertiary Coals from Anatolides (Tokat Region-Turkey). *Geod Schmidt 2013*, Floransa-İtalya.
- Zdravkov, A., Bechtel, A., Sachsenhofer, R.F., Kortenski, J., Gratzer, R., (2011), Vegetation differences and diagenetic changes between two Bulgarian lignite deposits – insights from coal petrology and biomarker composition. *Org. Geochem.*, 42, 237–254.
