



MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi

<https://www.mta.gov.tr/mtayerbilimleri/>



Büyükeceli (Silifke-Mersin) grafit mineralizasyonu köken yaklaşımı ve benzer mineralizasyonlar açısından önemi

Ali UZUMER^{a,*}, Deniz TİRİNGA^b, Bahadır GÜLEZ^c, Necmi KIRAL^c, Serkan ÖZKÜMÜŞ^c ve Güvenç DEMİRKIRAN^d

^aTurkish Petroleum International Company (TPIC), Ankara

^bŞimşek Grup Müş. İnş. Pet. ve Mad. San. Tic. A.Ş., Çankaya, Ankara

^cMaden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara

^dMaden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Grafit, Büyükeceli, Orta Toroslar, Organik Madde, Grafitik Karbon

ÖZ

Stratejik hammaddelerden biri olan grafit, çok farklı kullanım alanlarıyla her geçen gün artan bir öneme sahiptir. Buna bağlı olarak son yıllarda grafit arama çalışmalarında da artış gözlenmektedir. Ülkemizdeki grafit mineralizasyonları daha çok Paleozoyik yaşlı metamorfikler, şistler ve epimetamorfikler içinde, mermerlerle olan kontakt zonlarında ve bunlardan farklı olarak Jura yaşlı Kastamonu Granitoyidi contağındaki sedimanter ortamda depolanmış birimler içerisinde gözlenmektedir.

Büyükeceli grafit mineralizasyonu, 1/25.000 ölçekli Mersin P31-d1 paftası içerisinde Koçaşlı köyü civarında yer almaktadır. Yörede Görbiyes Dağı Birliği'ne ait Yellice Tektonik Dilimi, Geyik Dağı Birliği'ne ait Ovacık Dilimi'ne bindirmiştir. Çalışma alanında Geç Proterozoyik-Erken Kambriyen yaşlı silisiklastiklerden çörtlü kalk şist ve rekristalize kireçtaşları ile killi şist, şeyl, meta kumtaşı, bloklü kireçtaşı ve meta bazikler gözlenmektedir.

Organik maddece zengin birimlerde yapılan analizlere göre kömürleşme derecesi grafit-semi grafit ve metaantrasit olan örneklerin %1-9 arasında değişen oranlarda organik madde içerdiği rastgele vitrinit yansıtması değerinin ise %4,250 ile %15,911 aralığında değiştiği belirlenmiştir. İnorganik madde içerisindeki organik madde tane boyları, saçınımlı halde gözlenen pulsu minerallerde <10 mikron ve çubuksu minerallerde 20-50 mikron, iri serbest taneler şeklinde izlenen minerallerde ise yer yer 20-100 mikron arasında değişmektedir.

Orta Toroslar Büyükeceli yöresinde ilk defa bu çalışma ile ortaya koyulan grafit mineralizasyonunun Batı Toroslar'da Antalya Gazipaşa ve Doğu Toroslar'da ise Göksun Fındıklıkoyak Köyü grafit mineralizasyonları ile benzer özellikler sergilediği düşünülmektedir.

Gönderim Tarihi: 28.02.2023

Kabul Tarihi: 29.05.2023

Keywords:

Graphite, Büyükeceli, Central Taurus, Organic Matter, Graphitic Carbon

ABSTRACT

Graphite, one of the strategic raw materials, has an increasing structure day by day with many different usage areas. Accordingly, there has been an increase in graphite exploration studies in recent years. Graphite mineralizations in our country are mostly observed in Paleozoic metamorphites, schists and epimetamorphics, in contact zones with marbles and, unlike these, in units deposited in the sedimentary environment in contact with the Jurassic Kastamonu Granitoid.

Received Date: 28.02.2023

Accepted Date: 29.05.2023

Büyükeceli graphite mineralization is located around Koçaşlı village within the 1/25.000 scale Mersin P31-d1 sheet. In the zones where the Yellice Tectonic Slice of the Görbiyes Mountain Unit

Atf Bilgisi: Uzumer, A., Tiringa, D., Gülez, B., Kiral, N., Özkümüş, S., Demirkıran, G. 2023. Büyükeceli (Silifke-Mersin) grafit mineralizasyonu köken yaklaşımı ve benzer mineralizasyonlar açısından önemi. MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi 3, 43-60.

*Başvurulacak Yazar: Ali UZUMER, ali.uzumer@mta.gov.tr

thrusts onto the Ovacık Slice of the Geyik Mountain Unit, cherty calc-schist and recrystallized limestones of Late Proterozoic-Early Cambrian aged siliciclastics, and clayey schist, shale, meta sandstone, blocky limestone and meta basics are observed.

According to the analyzes made in the units rich in organic matter, it was determined that the samples with the degree of carbonization of graphite-semi-graphite and metaanthracite contain organic matter at rates varying between % 1-9 random vitrinite reflection values ranged between 4.250% and 15.911%. The grain sizes of organic matter in inorganic matter vary between <10 microns in disseminated flake minerals and 20-50 microns in rod-like minerals, from 20-100 microns in minerals observed as large free grains.

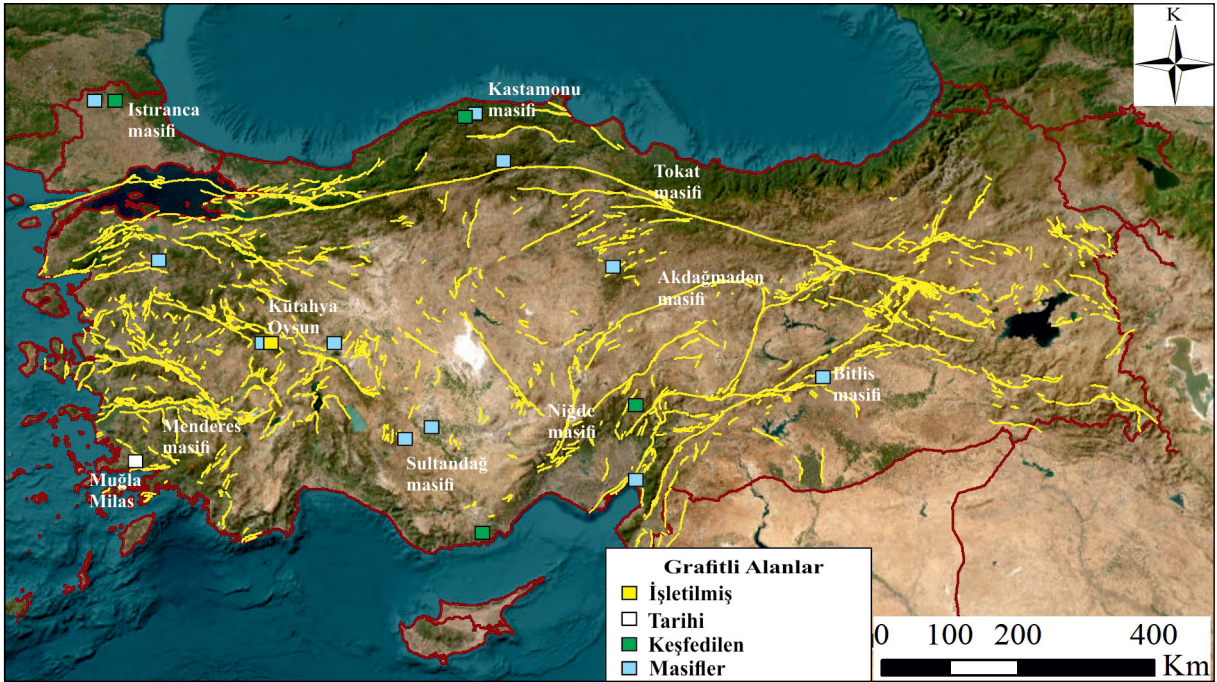
It is thought that the graphite mineralization revealed for the first time in this study in the Central Taurus Büyükeceli region exhibits similar characteristics with the graphite mineralizations of Antalya Gazipaşa in the Western Taurus and Göksun Fındıklıkoyak Village in the Eastern Taurus.

1. Giriş

Avrupa Birliği tarafından stratejik madenlerden biri olarak kabul edilen grafit; yumuşak, yağsı dokunuşlu ve ince levhalar halinde bükülme özelliğine sahip olan bir karbon mineralidir. Sertliği 1, yoğunluğu 2 gr/cm³ tür. Rengi gri ve siyah, çizgi rengi kül renginde ve yağlı bir yapıya sahiptir. Doğada; kristal, pulsu ve amorf diye tanımlanan şekilleri bulunmakta olup bunlardan en iyi formu ve en yüksek tenöre sahip olanı kristal grafitir. Ancak en yaygın bulunan formu amorf olanıdır. Grafit, dünyada teknolojinin gelişmesi, özellikle grafiten grafen elde edilmeye başlanması ile birlikte her geçen gün kullanımı artan bir hammaddedir. En basit şekliyle kurşun kalem hammaddesi olarak bilinir. Tek başına veya diğer bazı maddelerle karıştırılıp şekillendirilerek yağlayıcı olarak elektrik sanayiinde, boyacılıkta, elektronik malzeme yapımında, ısıya dayanımı nedeniyle de izolasyon malzemesi olarak geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Grafitlerin en önemli kullanım alanlarından biri de çelik ve elektrometalürji sanayiidir.

Grafit organik maddelerin metamorfizması sonucu oluşmaktadır. Doğada metamorfik zonlarda şistler ve mermerlerle birlikte ve magmatik kayaların yakınlarında bulunmaktadır. Rejyonel metamorfizma alanlarında daha geniş kaynak potansiyeline ve yüksek tenörlere sahip olabilmektedir. Türkiye’de gözlenen grafit mineralizasyonları çoğunlukla kil, şist ve karbonatlı kayalar gibi ince taneli malzemeler içerisinde olup daha ziyade, granitik kütlelere yakın alanlar ve masif çevrelerinde bulunmaktadır.

Ülkemizde günümüze kadar ortaya çıkarılmış en önemli grafit oluşumları Kütahya-Altıntaş-Oysu, Kastamonu-Doğanyurt, Balıkesir-Susurluk, İnebolu-Anday, Bingöl-Genç, Adıyaman-Sincik, Kahramanmaraş-Göksun, Yozgat-Akdağmadeni ve Kırklareli-Demirköy yöreleridir (Şekil 1). Günümüzde Kütahya-Altıntaş-Oysu, işletilen tek grafit yatağımızdır. MTA tarafından son yıllarda grafit etütlerine önem verilmiş olup Kastamonu-Doğanyurt, İnebolu ve Kahramanmaraş-Göksun’daki kaliteli grafit cevherleşmeleri ortaya çıkarılmıştır (Çizelge 1). Bunlardan Kahramanmaraş-Göksun’daki cevherleşme amorf grafit içerirken (Yığmatepe ve Kırbaş, 2019), Kırklareli-Demirköy’deki çok kalın olmayan grafitler de yer yer kaliteli olup aynı şekilde amorf grafiten oluşur (Tiringa vd., 2019). Kastamonu-İnebolu’daki cevherleşme kristal formda olup bugüne kadar bulunan en kaliteli grafit cevherleşmesidir (Pehlevan, 2009). Bunların dışında Ülkemizde Orta Anadolu’daki genç volkanik hareketlerden etkilenmiş, grafitleşme sürecini tamamlayamayıp meta-antrasit özelliğinde kalmış birçok mineralizasyonun varlığı da bilinmektedir. Ülkemizdeki grafit oluşumlarının kaynak potansiyelleri henüz net olarak ortaya konulmamış olup teknolojik açıdan tane boylarının çok küçük olması ve killer gibi ince taneli inorganik maddelerin içerisinde dağılmış halde bulunmaları en büyük sorunları olarak karşımıza çıkmaktadır. Grafitin artan talep ve kullanım alanları göz önüne alındığında, grafit teknolojisine yönelik ciddi yatırımlar yapılmasının gerekliliği daha iyi anlaşılmaktadır. Bu sayede yerli hammaddeleri kullanıp farklı ürünler üreterek Ülkemize büyük katma değer kazandırmak olası görünmektedir.



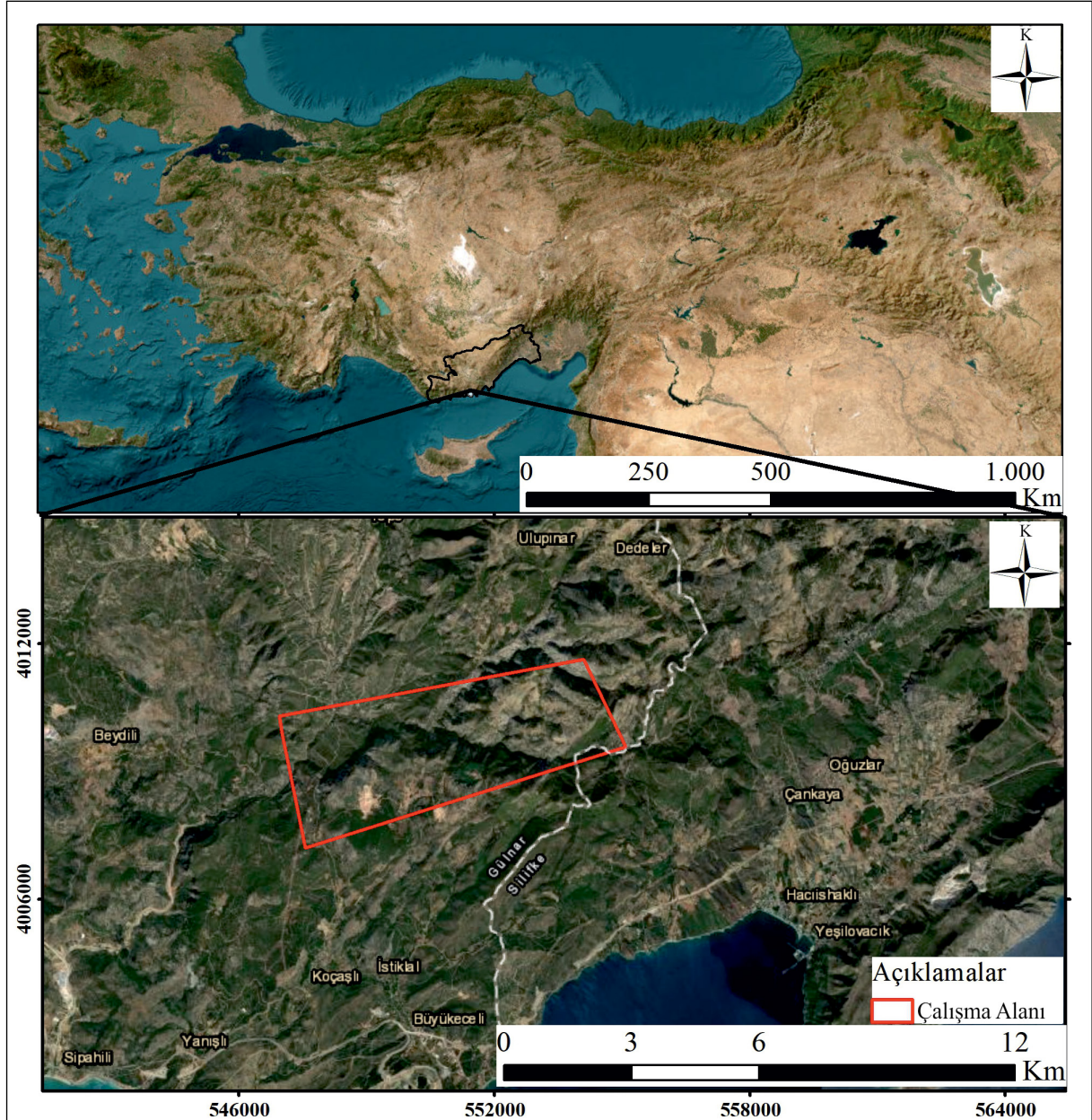
Şekil 1- Türkiye’de grafit oluşumlarının genel dağılımı (İlhan vd. 2020’den güncellenerek hazırlanmıştır) ile bunların tektonik hatlarla ilişkileri (Emre vd. 2013’ten değiştirilerek alınmıştır).

Çizelge 1- Türkiye’deki grafit yatakları ve zuhurları (Karabacak, 2018; Malayoğlu vd.,1999; MTA, 2017’den güncellenerek hazırlanmıştır).

Adı	Yer	Tipi	Kaynak Rezerv	Ana Kayaç	Aşamalar
Oysu	Kütahya	Amorf	7.2 Mt ile %20Cg	Metamorfik	İşletilmiş ¹
Milas	Muğla	Amorf	500 Kt ile %10Cg	Metamorfik	Tarihi ²
Susurluk	Balıkesir	Kristal	Bilinmiyor	Metamorfik - İntüzif	Masifler
Tire	İzmir	Amorf	350 Kt ile %10Cg	Metamorfik	Masifler
Sincik	Adıyaman	Amorf	30 Kt ile %45Cg	Metamorfik	Masifler
Akdağmadeni	Yozgat	Kristal	100 Kt ile %45Cg	Metamorfik	Masifler
Anday	İnebolu	Amorf	%60Cg	Metamorfik	Masifler
Derbent	Konya	Amorf	Bilinmiyor	Metamorfik	Masifler
Doğanyurt	Kastamonu	Amorf	Bilinmiyor	Metamorfik	Keşfedilen ³
Göksun	Kahramanmaraş	Amorf	Bilinmiyor	Metamorfik	Keşfedilen ³
Dereköy	Kırklareli	Amorf	Bilinmiyor	Metamorfik - İntüzif	Keşfedilen ³
Büyükeceli	Mersin	Amorf	Bilinmiyor	Metamorfik	Keşfedilen ³

Büyükeceli grafit mineralizasyonu Türkiye'nin güneyinde; Orta Toroslar olarak adlandırılan yörede, Mersin ili Silifke ilçesinde yer almaktadır (Şekil 2). Çalışma alanında ve yakın çevresinde çok sayıda küçük ölçekli ve düşük-orta tenörlü demir cevherleşmesi ile yüksek tenörlü barit cevherleşmelerinin varlığı

bilinmektedir. Yörede bilinen herhangi bir grafit mineralizasyonu bulunmamakta olup ilk defa bu çalışma kapsamında yapılan sondajlarda grafit, semigrafit, metaantrasit tanımlaması veren zonlar kesilmiştir.



Şekil 2- Çalışma alanını ve çevresini gösteren yer bulduru haritası.

2. Materyal ve Metot

Çalışma alanında yürütülen MTA projesi kapsamında detay maden jeolojisi, jeokimya, jeofizik ve sondaj çalışmaları yürütülerek grafit mineralizasyonuna ait özellikler ortaya çıkarılmıştır. Grafit kesilen BS-21/3, BS-21/4, BS-21/6 ve BS-21/7 no.lu sondajların kimyasal analizlerinin yanı sıra belirlenen örneklerden grafitik karbon analizi ve rastgele vitrinit yansıtması ölçümleri, 27 adet örnekten XRD ve 11 adet örnekten ise mineralojik-petrografik analizler yapılmıştır.

Karotlardan alınan 401 adet numune üzerinde MTA MAT Dairesi Jeokimya Laboratuvarı'nda jeokimyasal analizler yapılmıştır. Ana oksit element analizleri için öğütülmüş 50 g numune selüloz ile 15 dakika homojen hale gelinceye kadar karıştırılmış ve pres işlemi ile disk haline getirilmiştir. Ardından XRF cihazında numune yapısına uygun programda okunup değerlendirilmiştir. Ana, iz ve eser element analizleri ise Spectro ICP-OES cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Karotlardan alınan 334 adet numunede ise MTA MAT Dairesi Kömür Analizleri Laboratuvarı'nda grafit mineralizasyonuna yönelik olarak fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Grafitik karbon tayinleri için 250 g numune üzerinde önce 450 °C'de oksidasyon ve nitrik asitte çözme işlemi gravimetrik analiz yapılmış, sonrasında ise karbon (C) tayini (1300 °C, aletli) ölçümü yapılmıştır. Örneklerin kömürleşme derecesinin tayini için parlatma blokları

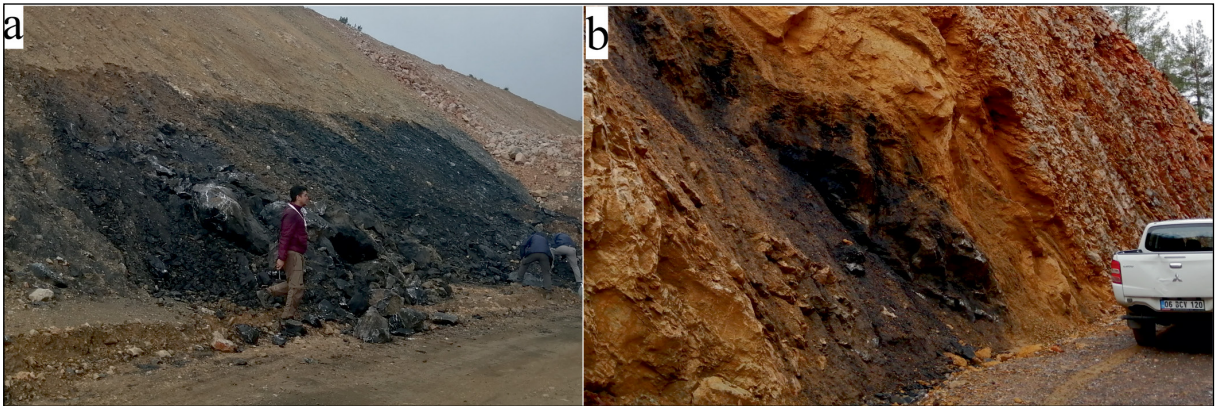
üzerinde, üstten aydınlatmalı polarize ışık kaynaklı mikroskopta rastgele vitrinit yansıtması ölçümleri yapılmıştır.

3. Yapısal Jeoloji

Çalışma alanı ve çevresinde Kaledoniyen, Hersiniyen-Alpin orojenezleri ve bu orojenezlerin farklı fazları etkili olmuştur. Bu etkiler nedeniyle de birimler oldukça kırıklı ve bolca kıvrımlı bir yapı kazanmıştır (Biçen, 1977).

Bölgede görülen birimlerde tabakalar genellikle KD doğrultulu ve KB ya da GD'ya eğimlidir. Bölgedeki kırıklar da bu kıvrımları oluşturan sisteme göre gelişmiştir. Prekambriyen yaşlı birimlerin Paleozoyik-Mezozoyik üzerine itilme yönü KB'dan GD'ya doğru ve iki birim arasında oluşan yapısal hattın yönü ise GGB-KKD'dur.

Ordovisiyen-Devoniyen arasındaki yapısal hat, muhtemel Paleosen öncesi bir orojenik faza bağlı olarak oluşmuştur. Bu hat GGB-KKD yönünde kilometrelerce uzanım gösterir (Biçen, 1977). Grafit mineralizasyonu Dedeler köyünde ve Gökbelen köyü güneyindeki bazı lokasyonlarda bu ana yapısal hat üzerinde küçük mostralara vermektedir (Şekil 3). Yörede mineralizasyonun örtü altındaki yayılımı sondaj çalışmalarıyla ortaya konulmuş, yüzeyde görülene kıyasla çok daha geniş bir devamlılığı olduğu ve ekonomik öneme sahip olabileceği belirlenmiştir.



Şekil 3- a) Silifke-Gülнар yol yarmasında ve b) Dedeler Köyü kuzeyinde kireçtaşı-dolomitik kireçtaşı arasında gözlenen grafit mineralizasyonları.

4. Çalışma Alanının Jeolojisi

Çalışma alanı ve çevresinde bölgesel jeolojiye yönelik olarak öncel dönemde yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Orta Toroslar'da; Silifke, Anamur ve Gülnar ilçeleri arasında kalan alanda yürütülen çalışmalarda; Neojen istifine temel oluşturan birimlerde; stratigrafi, kaya türü, metamorfizma, yapısal özellikler açısından birbirinden farklı havzaları temsil eden ve birbiriyle tektonik ilişkili iki tektonik birlik ayırtlanmıştır. Bunlar "Geyikdağı Birliği" ile ilk kez bölgede tanımlanan "Görbiyesdağı Birliği" dir (Özalp ve Demirkol, 2003).

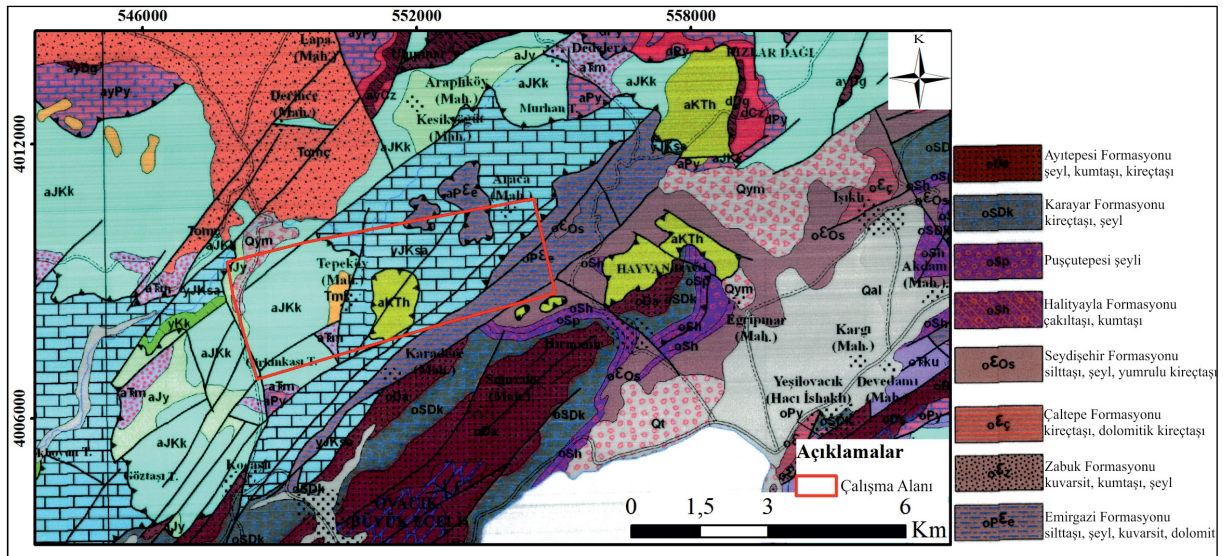
Büyükeceli grafit mineralizasyonu ve yakın çevresinde Geyikdağı Birliği'nin Yellice Dilimi'ne ait Emirgazi formasyonu, Seydişehir formasyonu ve Aytepesi formasyonu ile Görbiyes Dağı Birliği'nin Ovacık Dilimi'ne ait Sağkaya formasyonu yüzylemektedir (Şekil 4).

4.1. Emirgazi formasyonu (oPee)

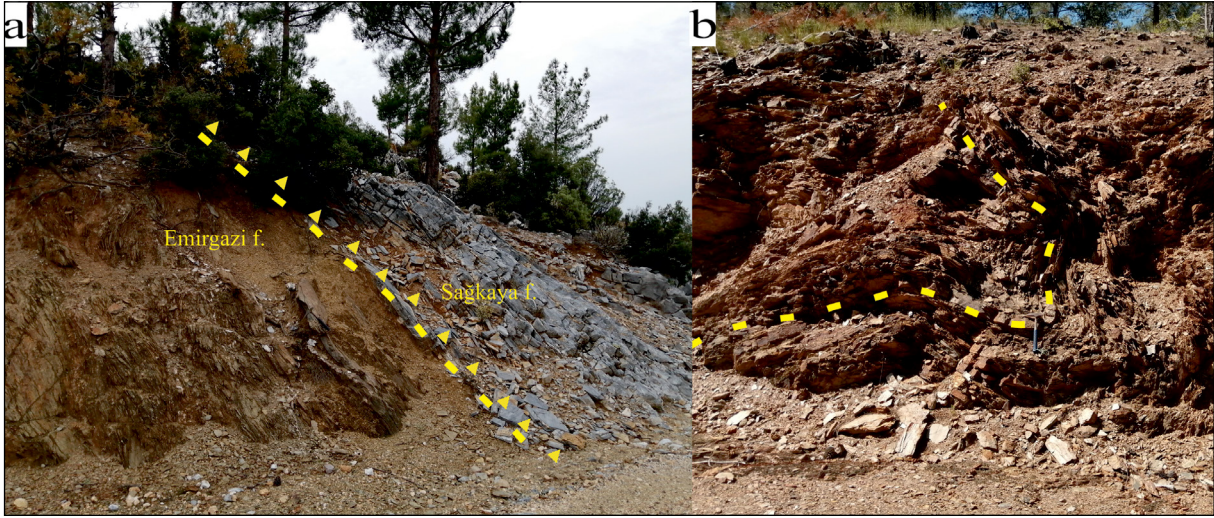
Başlıca silttaşı, şeyl, ince dolomit düzeyleri ve daha az kuvarsitlerden oluşan birim Doğu Toroslar'da

ilk defa Özgül ve Gedik (1973) tarafından Tufanbeyli ilçesi Emirgazi Köyü civarında tanımlanmıştır.

Formasyon çalışma alanında Akçakoyunlu mevkiinde, Dedeler mahallesi güneyinde, Eski Yanışlı mevki batısındaki (Şekil 5) alanlarda ve Koçaşlı mahallesi doğusunda mostra vermektedir. İnceleme alanında formasyonun görünür tabanında ayrışma yüzeyi koyu yeşil-bordo renkli, taze kırık yüzeyi açık yeşil renkli, orta-kalın ve çapraz tabakalı, laminalanmalı silttaşları yer almaktadır. Bu düzey üzerinde ise silttaşlarıyla aralanma sunan ayrışma yüzeyi haki renkli, taze kırık yüzeyi açık yeşil levhamsı ayrışmalı şeyl düzeyleri yer almaktadır. Bu düzeylerin üstlerine doğru merccekler şeklinde ayrışma yüzeyi grimsi siyah renkli, taze kırık yüzeyi gri-koyu gri renkli, ince tabakalı dolomitler gelmektedir. Bu düzeylerden sonra şeyller arasında yanal devamlılığı olmayan, ayrışma yüzeyi açık pembe ve beyazımsı bej renkli, taze kırık yüzeyi açık bej ve açık pembemsi bej renkli, orta-kalın tabakalı kuvarsit düzeyleri görülür. Emirgazi formasyonu Büyükeceli, Karadere mahallesi ve Akçakoyunlu mahallesi kuzeyinde Görbiyes Dağı Birliği'ne ait Sağkaya formasyonu tarafından bindirmeli tektonik dokanakla üzerlenmektedir (Şekil 5).



Şekil 4- Çalışma alanını ve çevresini gösteren jeoloji haritası (Alan vd., 2011).



Şekil 5- a) Emirgazi formasyonuna ait şeyl, silttaşları ile Sağkaya formasyonuna ait çörtlü kireçtaşlarının tektonik ilişkisinin görünümü (Araca mahallesi yolu üzeri) ve b) Emirgazi formasyonuna ait şeyl, silttaşlarının görünümü (Hayvandağı kuzeyi).

4.2. Seydişehir formasyonu (oOs)

Başlıca şeyl, silttaşı ve nadiren yumrulu kireçtaşından oluşan birim ilk defa Dean ve Monod (1970) tarafından tanımlanmıştır. Çalışma alanında Eğripınar mahallesi ve Bucak mahallesi arasında yaygın olarak yüzeylemeleri bulunmaktadır.

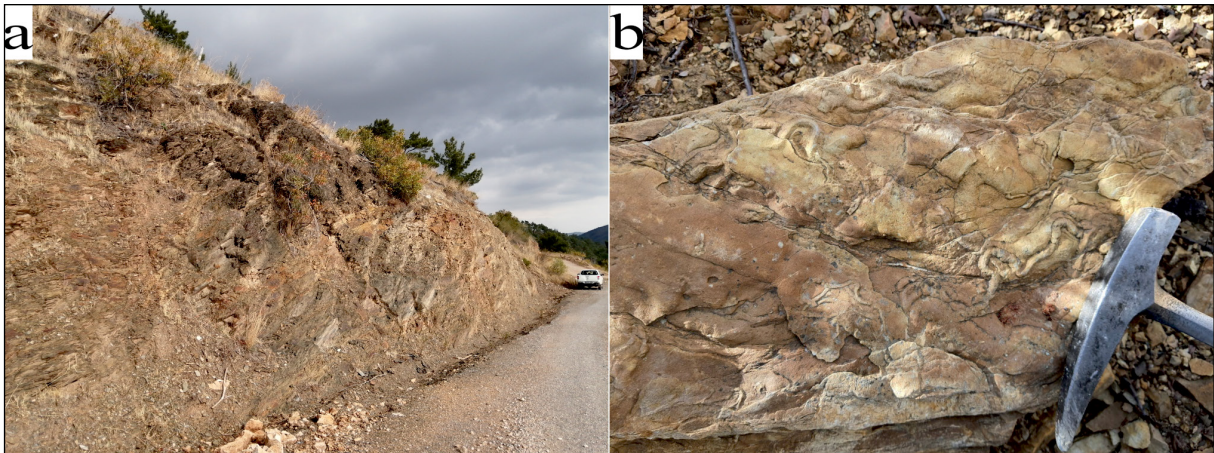
Formasyonun alt düzeylerinde ayrışma yüzeyi boz, taze kırık yüzeyi uçuk ve füme renkli yapraklı ayrışmalı şeyllerle ardalanma gösteren, ayrışma yüzeyi açık pembe renkli, taze kırık yüzeyi pembe, yeşilimsi pembe renkli yer yer ince-orta tabakalı yumrulu kireçtaşları bulunmaktadır (Şekil 6). Üst seviyelere

doğru bu şeyller daha yaygın olarak gözlenmektedir (Alan vd., 2011).

4.3. Ayıtepesi formasyonu (oDa)

Dolomitik kireçtaşı, kuvars kumtaşı, kireçtaşı ve şeyllerden oluşan birim, ilk defa Özgül vd. (1973) tarafından adlandırılmıştır. Çalışma alanında Büyükeceli, Sığircık, Koçaşlı, Karadere köyleri ve Akdere kasabası kuzeyindeki alanlarda yüzeylemeleri bulunmaktadır.

Formasyon tabanda yer yer şeyl içeren kireçtaşı ve kumtaşı ardalanmasından oluşur (Şekil 7). Kireçtaşları



Şekil 6- a) Seydişehir formasyonuna ait şeyl ve silttaşlarının genel görünümü (Işıklı köyü batısı) ve b) Seydişehir formasyonunda görülen *Palaeophycus* isp. izleri.

ayırışma yüzeyi koyu gri, kahverengimsi gri renkli, taze kırık yüzeyi füme renkli, orta tabakalı, makro fosillidir. Kuvars kumtaşları ayırışma yüzeyi sarımsı-boz renkli, taze kırık yüzeyi sarımsı gri renkli ve orta tabakalıdır. Şeyller ayırışma yüzeyi açık gri renkli, taze kırık yüzeyi bej, gri renkli olup kireçtaşı ve kuvars kumtaşları arasında ince düzeyler halinde bulunur. Formasyonun üst düzeylerinde dolomitik kireçtaşı ve kuvars kumtaşı birlikteliği gözlenir. Dolomitik kireçtaşları ayırışma yüzeyi koyu gri renkli, taze kırık yüzeyi açık gri renkli, orta- kalın tabakalıdır (Alan vd., 2011).

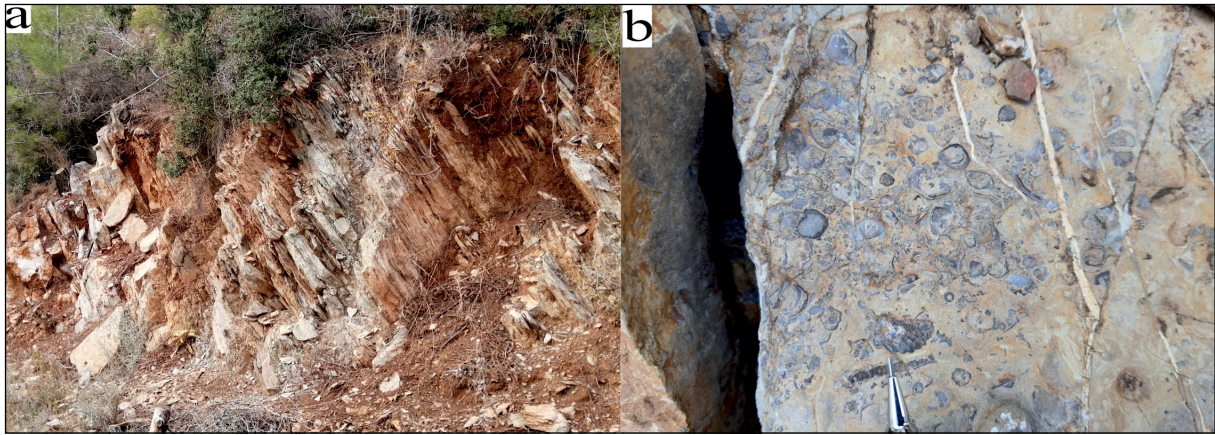
Demirtaşlı (1978) aynı bölgede yaptığı çalışmada birimden fosillere dayanarak (Şekil 7) formasyona Alt Devonyen yaşını vermiştir.

4.4. Sağkaya formasyonu (yJKsa)

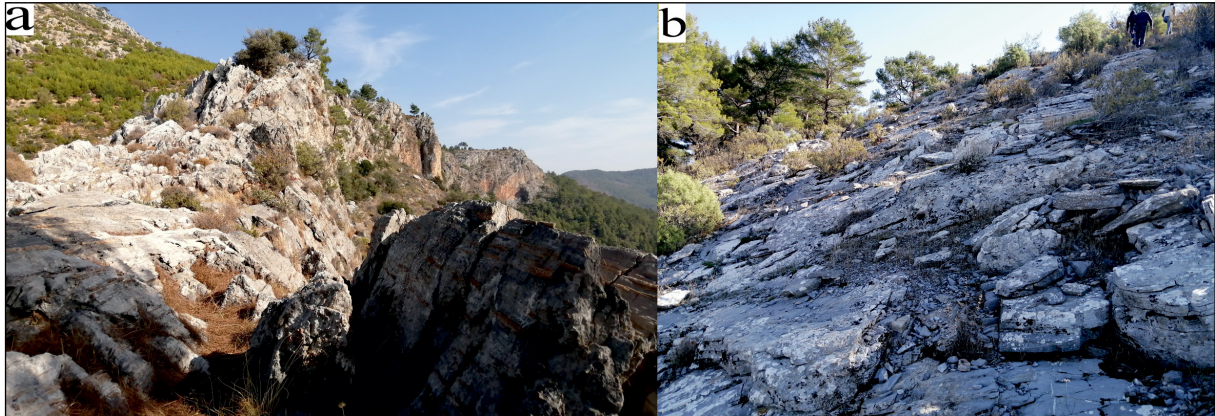
Sağkaya formasyonu ilk defa Özgül ve Kozlu (1993) tarafından adlandırılmış olup rekristalize kireçtaşı ve çörtlü rekristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 8). Feke güneybatısında Görbiyes Dağı civarındaki Kıbrıslar köyü Sağkaya tepede tipik yüzeylemeleri gözlenir. Çalışma alanında Yanışlı mahallesi batısında, Ören tepe doğusunda, Dedeler köyü güneybatısında, Karadere mahallesi kuzeyinde ve Tepeköy mahallesi civarında KD-GB istikametinde yayılım göstermektedir.

5. Maden Jeolojisi

Besi Tepesi'ndeki grafit mineralizasyonu Prekambriyen ve Fanerozoik yaşlı litolojileri bir



Şekil 7- a) Ayıtepesi formasyonuna ait kireçtaşı-kuvars kumtaşı düzeylerinden görünüm (Karadere mahallesi güney batısı) ve b) Ayıtepesi formasyonunda gözlenen bazı fosillerin gösterimi.

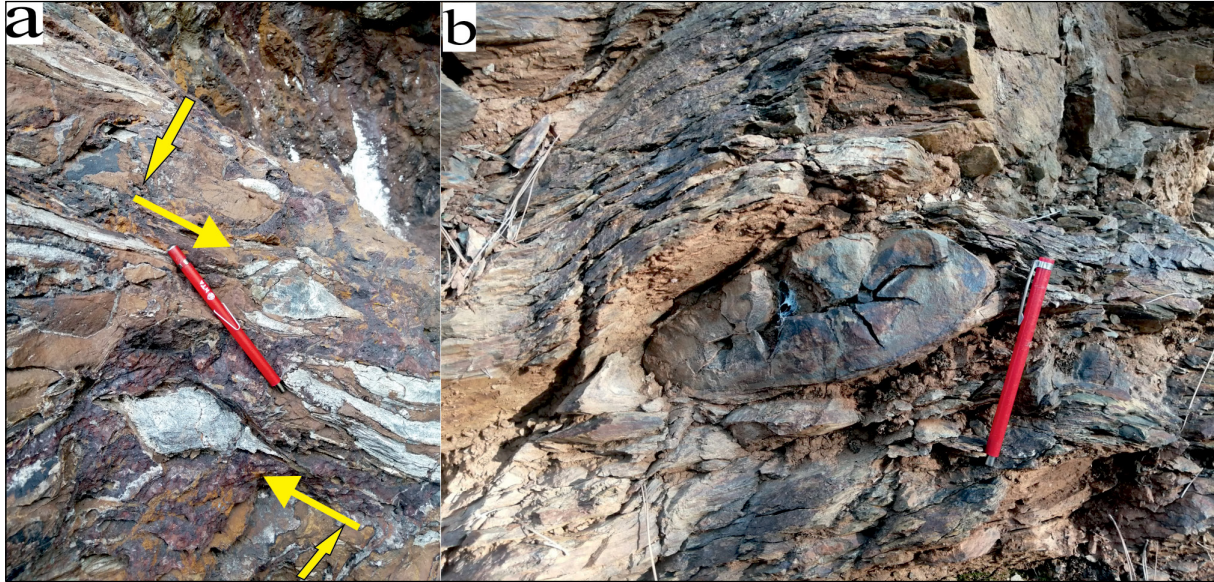


Şekil 8- a) Sağkaya formasyonuna ait çörtlü rekristalize kireçtaşlarının görünümü (Şeyhlerdağı güneyi) ve b) Taşbaşı Tepesi güneydoğu yamacı.

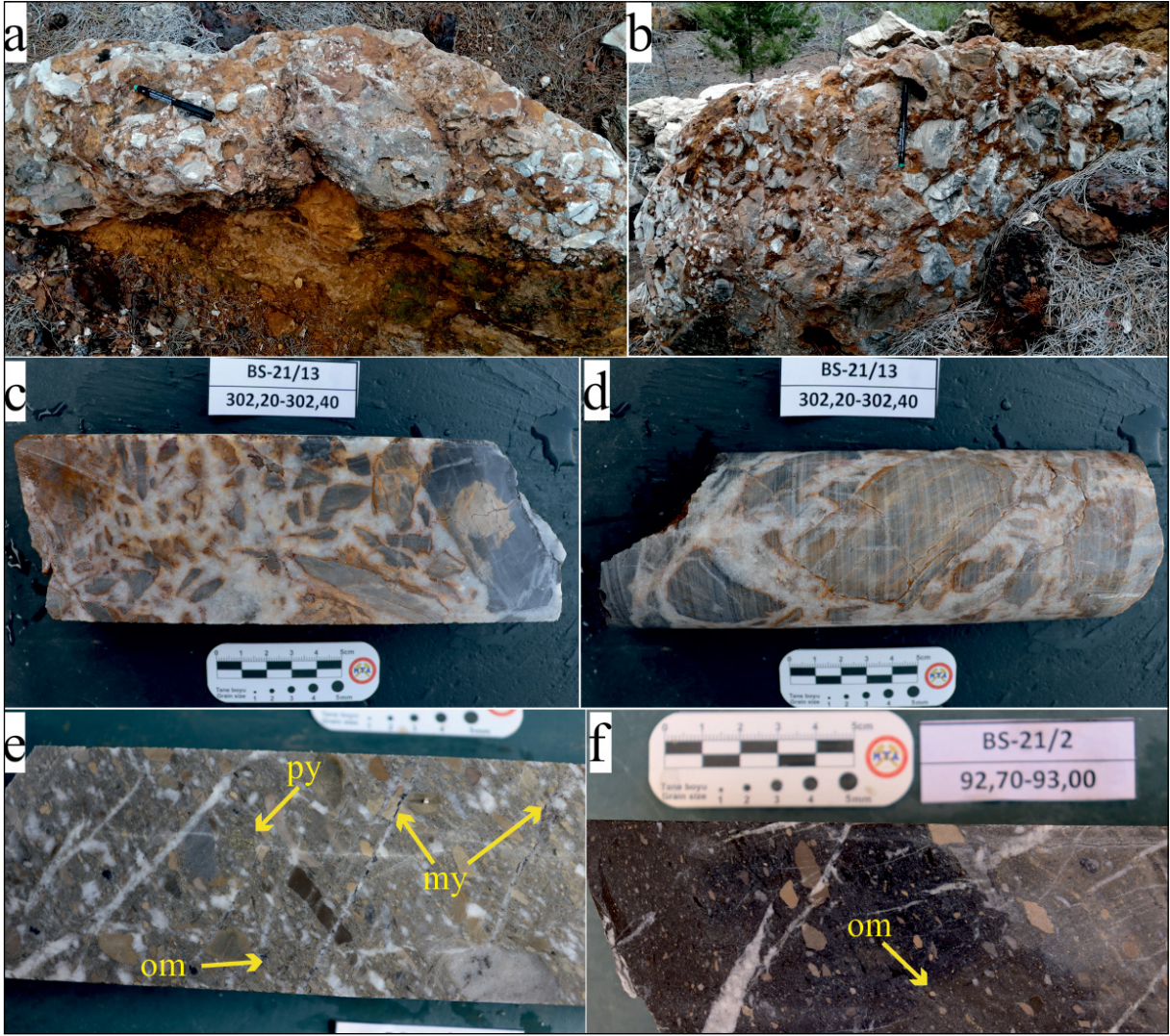
araya getiren, GGB-KKD yönünde kilometrelerce uzanım gösteren bindirme zonunda yer almaktadır. Besi Tepesi ve civarında Prekambriyen yaşlı Emirgazi formasyonu içerisinde organik maddece zengin şistler ile Jura-Kretase yaşlı Sağkaya formasyonu içerisindeki çörtlü kristalize kireçtaşı dokanağında bindirme sonucunda sünek yapılar meydana gelmiştir (Şekil 9). Kataklastik zonda yan kayaç parçalarının yanı sıra farklı büyüklüklerde organik maddeler, pirit parçaları ve silis damarları içerisinde manyetit mineralleri gözlenmektedir (Şekil 10).

Bindirme zonu boyunca yapılan BS-21/3, BS-21/4-4A, BS-21/6 ve BS-21/7 no.lu sondajlardan elde edilen veriler, grafitleşme derecesi metaantrasit, semi grafit ve grafit olarak değişen organik maddece zengin seviyelerin birbirleriyle bağlantılı olarak yanal yönde devamlılığının olduğunu, ayrıca bu seviyelerin gerek

Rmax gerekse grafitik karbon değerleri açısından da ekonomik olarak değerlendirilebilecek özelliklere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 11’de çalışma kapsamında yapılan detay maden jeoloji haritasında tektonik hat içerisinde gözlenen demir cevherleşmesi ve organik maddece zengin seviyelerin konumları, sondajlar boyunca alınan kesit hatları ile birlikte gösterilmektedir. Şekil 12’deki GB-KD yönlü kesitte ise sondajların korelasyonu sonucunda meta antrasitten-grafitik kayaca değişen birimlerin olası kalınlıkları ve devamlılıkları yer almaktadır. Buna göre grafit mineralizasyonunun yüzeyde gözlenenden çok daha geniş ve kalın bir yayılıma sahip olduğu söylenebilir. Sondajlar demir cevheri arama amacına yönelik olduğundan organik maddece zengin seviyelerde durdurulmuştur. Dolayısıyla grafit mineralizasyonunun derinlik ve boyutu tam olarak bilinmemektedir.

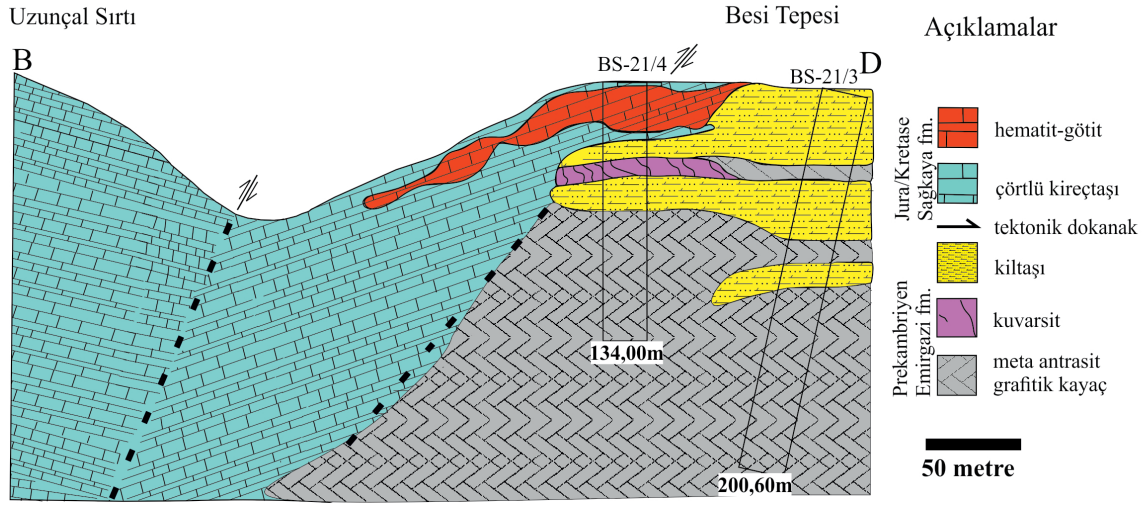
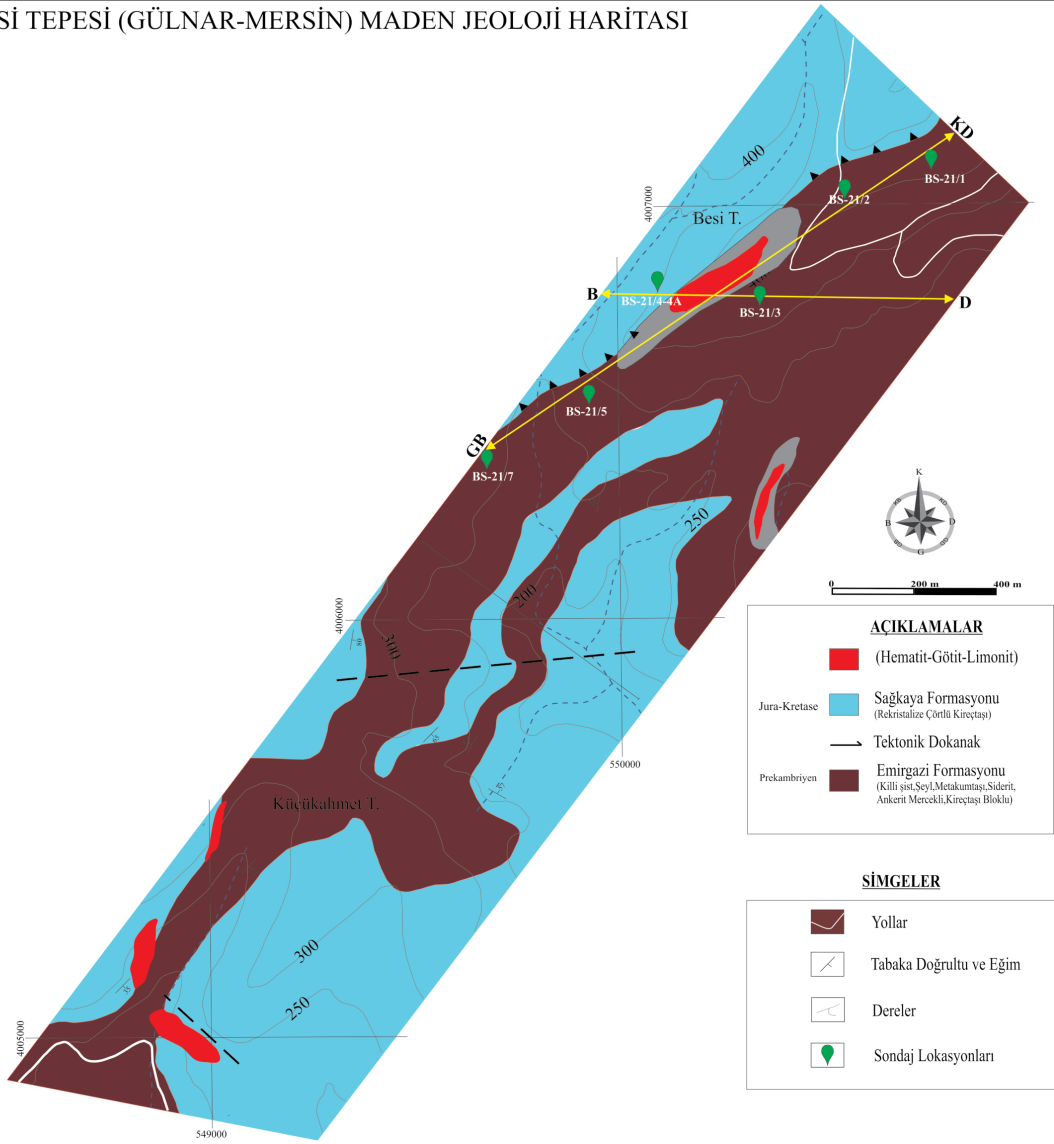


Şekil 9- Bindirme zonu üzerinde a) Demirli zonlar içerisinde gözlenen sünek yapılar ve b) Paleozoyik yaşlı şistler içerisinde gözlenen sünek yapılar.

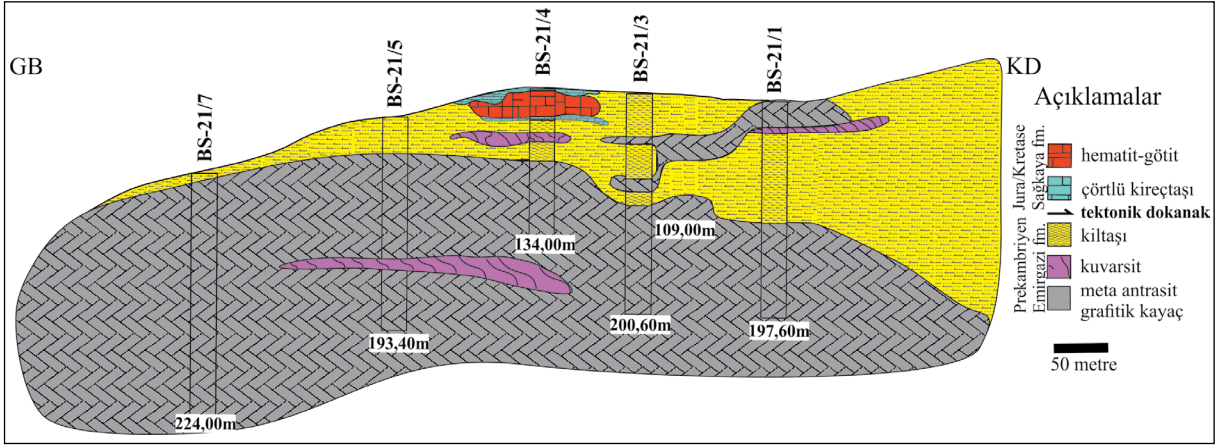


Şekil 10- Bindirme zonu üzerinde a-b) çalışma alanında birçok noktada görülen irili ufaklı çörtlü kireçtaşı parçaları içeren breşik seviyeler ve c-d) BS-21/13 no.lu sondaj kuyusunda gözlenen breşik seviyeler ve e-f) BS-21/4A ve BS-21/2 no.lu sondaj kuyusunda gözlenen breşik seviyeler. Bu seviyeler içerisinde yan kayaç parçalarının yanı sıra organik maddeler (om), pirit parçaları (py) ve sonradan kayacı kesen silis damarları içerisinde manyetitler (my) gözlenmiştir.

BESİ TEPEŞİ (GÜLNAR-MERSİN) MADEN JEOLJİ HARİTASI



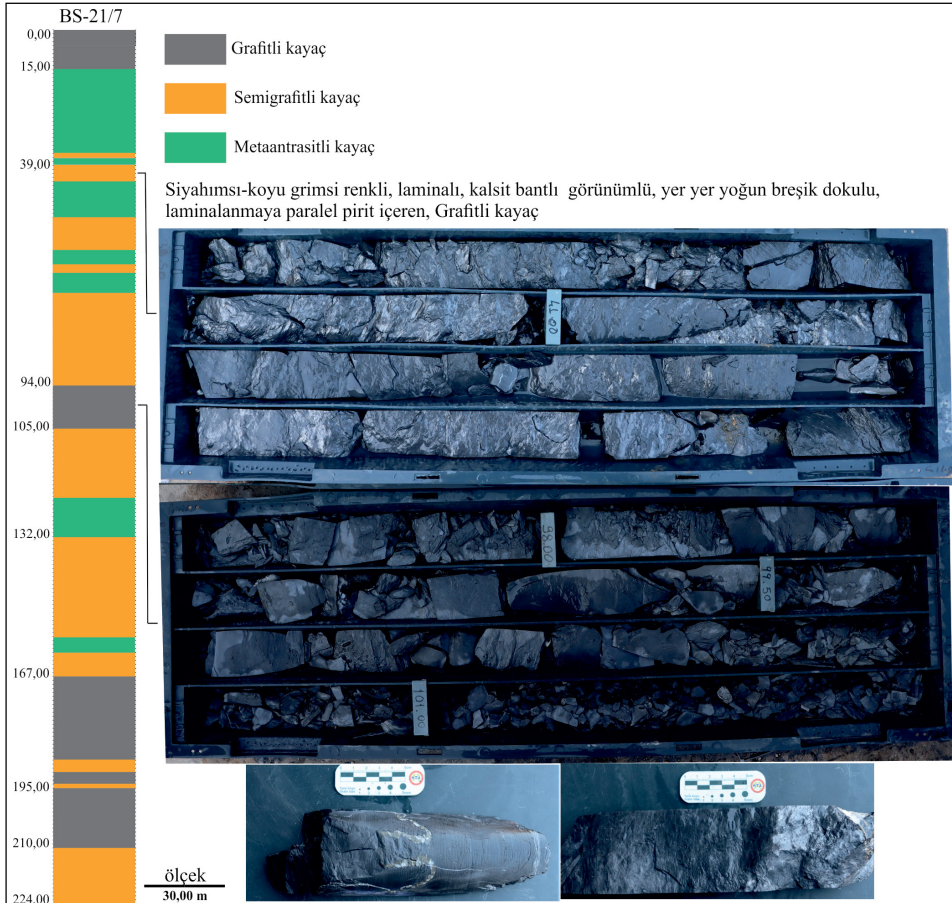
Şekil 11- Besi Tepesi mevkiinde yapılan 1/5000'lik detay maden jeoloji haritası B-D enine kesiti (Uzumer ve Tiringa, 2021' den güncellenerek hazırlanmıştır).



Şekil 12- Besi Tepesi mevkiinde yapılan 1/5000'lik detay maden jeoloji haritası GB-KD enine kesit.

Grafit mineralizasyonu için en verimli sondaj BS-21/7 no.lu kuyu olup 224 metre tamamen farklı derecelerde organik madde içeriğine sahip litolojiler geçilmiştir. Yüzeiden itibaren tabana kadar 1'er metre olarak örneklenmiş, örneklerde rastgele vitrinit

yansıtması ölçümleri yapılmıştır. Yapılan analizlerle meta antrasit-semi grafit-grafitik kayaçlara ait değişimler detay log halinde Şekil 13'te gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına ilgili bölümlerde değinilmiştir.



Şekil 13- BS-21/7 no.lu sondaj kuyusuna ait log ve grafit mineralizasyonu gözlenen seviyelerden karot örneklerinin gösterimi.

6. Jeokimyasal İncelemeler

Sondajlarda geçilen farklı organik madde içeriğine sahip seviyelerin jeokimyasal analizlerinde ana oksit değerlerin ortalamaları %35 SiO₂, %17,3 Al₂O₃, %16,7 CaO, %6,3 Fe₂O₃, %2,4 K₂O, %1,7 MgO ve %0,61 Na₂O şeklindedir.

Grafit olarak tanımlanan seviyeler birbirleriyle karşılaştırıldığında ise jeokimyasal olarak farklılıklar dikkat çekmektedir. BS-21/7 no.lu kuyuda 94,00-105,00 metreler arasındaki grafitler kuyunun diğer seviyelerindeki grafitlerle karşılaştırıldığında SiO₂ oranları %40,2 ile %42,4 arasında, K₂O oranları ise %2,4 ile %2,8 arasında değişmekte olup SiO₂ ve K₂O oranları diğer seviyelerine göre belirgin şekilde düşüktür. CaO değerleri %10,9 ile %6,6 arasında, MnO değerleri %0,1 ile %0,2 arasında, AZ değerleri %9,50 ile %14,35 arasında, S değerleri %0,73 ile %1,39 arasında, Pb değerleri 10 ppm ile 18 ppm arasında ve Zn değerleri 86 ppm ile 152 ppm arasında değişmektedir. Bu değerler de diğer grafit seviyelerine göre yüksektir. Bu sonuçlardan 94,00-105,00 metreler arasındaki grafitlerin oluşumları esasında kilittaş-silttaş ve şeyller ile ara seviyeli şekilde çökelen organik maddelerden türedikleri, çökelim ortamındaki deniz suyunun bileşiminde çözünmüş halde bulunan Pb, Zn ve Mn nedeniyle bu elementler bakımından anomali mertebesinde daha yüksek değerlere sahip oldukları, ortamdaki kükürt yiyen bakterilerin varlığı nedeniyle framboidal piritler bakımından zengin, dolayısıyla S miktarlarının da diğer grafit seviyelerine göre yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Benzer şekilde BS-21/6 no.lu kuyuda da karbonatça zengin seviyeler olduğu, bu seviyelerin grafitik karbon değerlerinin silisçe yüksek (%40 üzeri) seviyelere göre daha fazla olduğu, yine Pb-Zn gibi iz elementlerin grafitli seviyelerde sedimanter seviyelere göre anomali mertebesinde yükselimler gösterdiği anlaşılmaktadır. Silis-karbonat değişimlerine bağlı olarak S, Pb ve Zn gibi iz elementlerde BS-21/7 no.lu kuyudakine benzer değişimler BS-21/4A no.lu kuyuda da izlenmektedir.

Jeokimyasal analiz sonuçlarına göre organik maddelerdeki grafitleşme derecelerinin karbonatlı seviyelerde silisli seviyelerdeki grafitlere göre daha

yüksek olduğu, dolayısıyla daha kaliteli grafitler olduğu anlaşılmaktadır.

Jeokimyasal verilerin değerlendirilmesi sonucunda Büyükeceli grafit mineralizasyonunun içerdiği elementler bakımından denizaltı ortamında kilittaş ve silttaşları ile ara seviyeli şekilde çökelen organik maddelerden türediği, Orta Toroslar'ın karmaşık naplı jeolojik yapısı gereği büyük ölçekli deformasyonlar nedeniyle oluşan lokal metamorfizma koşullarına maruz kalan organik maddelerin, metaantrasit, semi grafit ve grafit gibi farklı derecelerde olgunlaştığı ve büyük tektonik hatlarda kısmen gözlemlendiği söylenebilir.

7. Mineralojik-Petrografik İncelemeler

Bir grafitin ekonomik olarak işletilebilmesi için grafitik karbon değerlerinin en az %3, Rmax değerinin en az %9 ve tane boylarının ise 15-20 mikrondan büyük olması gerekmektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2- Grafitleşme Durumu; Reflektans değeri ve H/C oranı (Kwiecińska ve Petersen, 2004).

Fazlar (Sembol)	d 002 (A°)	% Rmax	H/C
Grafit (G)	3,354-3,37	>9,0	0,005-0,1
Semi Grafit (SM)	3,37-3,38	9,0-6,5	0,1-0,15
Meta Antrasit (MA)	3,38-3,40	<6,5	0,15-0,2
Antrasit (A)	>3,40	<5,0	(=)>0,2

Sondajlarda grafit mineralizasyonu gözlenen seviyelerden alınan örnekler üzerinde XRD ve petrografik analizler yapılmıştır. Yapılan bu testlerde numuneleri oluşturan minerallerin tayini ile birlikte organik madde yüzdesi hesaplanmış, bu organik maddece zengin zonların tanımlaması yapılmış ve bu zonların rastgele vitrinit yansıtımalarının maksimum (Rmax), minimum (Rmin) ve ortalama (Rort) değerleri belirlenmiştir (Çizelge 3).

Grafitik karbon ve Rmax değerleri olarak en iyi sonuçlar BS-21/3 ve BS-21/7 no.lu sondajlarında elde edilmiştir. Bunun yanında BS-21/6 no.lu sondajda grafitik karbon değerleri %3'ten büyük olmasına rağmen Rmax değerleri %9'dan düşüktür.

Çizelge 3- Organik maddece zengin seviyelerin rastgele vitrinit yansıtma oranlarının maksimum, minimum ve ortalama değerleri ile grafitik karbon aralıklarını ve ortalamalarını gösteren çizelge.

Sondaj No	Örnek sayısı	Rmax (%)	Rmin (%)	Rort (%)	En yüksek grafitik karbon (%)	En düşük grafitik karbon (%)	Ortalama grafitik karbon (%)
BS-21/3	112				5,59	0,08	2,06
BS-21/6	94	10,02	3,89	5,99	5,43	0,62	2,24
BS-21/7	219	15,91	5,52	9,77	3,44	0,01	1,13

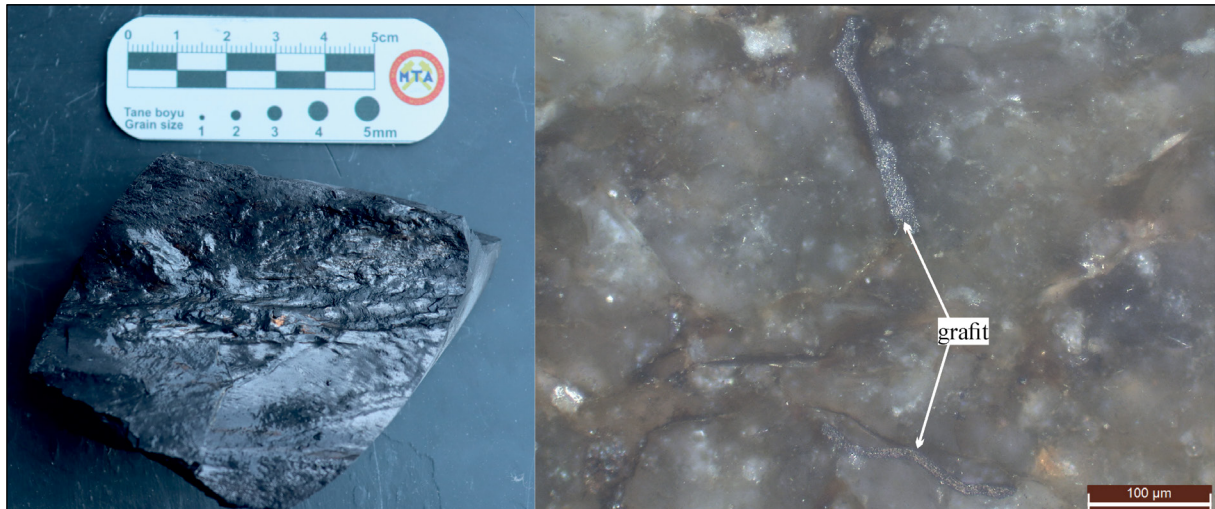
BS-21/7 no.lu sondajda 0-15 metreler arasında Rmax değerleri %11-15 arasında olup grafitik karbon değeri %1'den küçüktür. Aynı sondajda 94-122 metreler arasında Rmax değerleri %9-12,5 arasında olup grafitik karbon değerleri ise %2'den küçüktür. Bir diğer seviye olan 139-149 metreler arasında Rmax değerleri %9-13,9 arasındayken grafitik karbon değerleri en fazla %1,5 olmaktadır. Başka bir seviye olarak 162-224 metreler arasında ise Rmax değerleri %9-13,9 arasında olmasına rağmen grafitik karbon değerleri %1'den küçüktür. Analiz sonuçlarından anlaşıldığı üzere işletme açısından Rmax değerleri uygun olmasına rağmen grafitik karbon değerleri %3'ten küçüktür.

Genel bir bakış açısı olarak BS-21/7 sondajında 115 metre kalınlığında organik maddece zengin seviye kesilmiş ancak bu seviyenin ortalama Rmax değerleri %9'dan fazla olmasına rağmen en yüksek grafitik karbon değeri %3,44 olarak belirlenmiştir. Diğer bir tabirle Rmax değerleri ile grafitik karbon değerleri arasında farklılık göze çarpmaktadır.

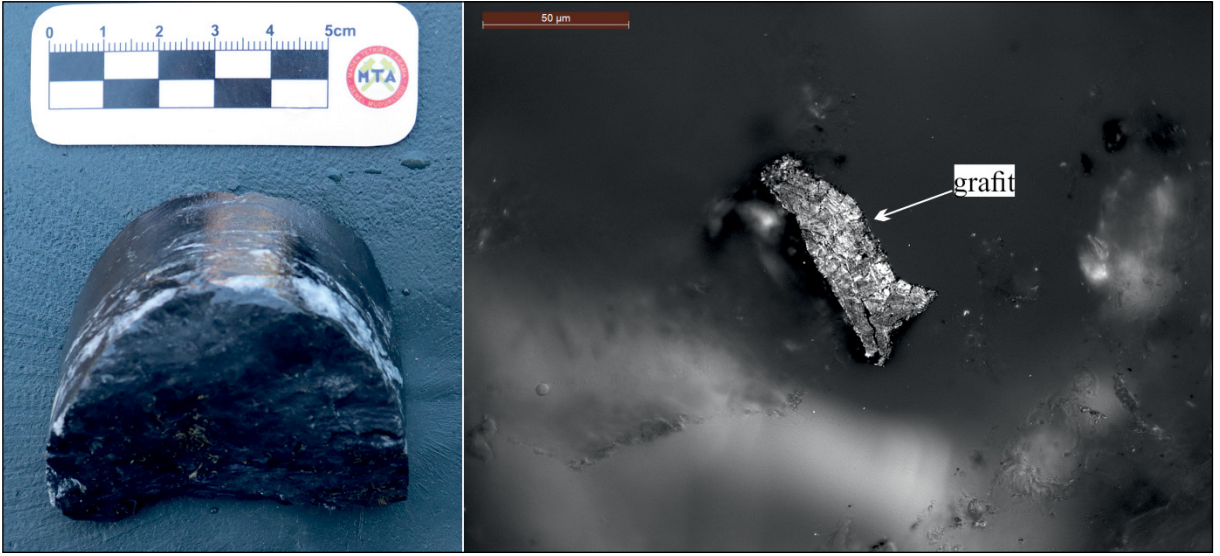
BS-21/7-M3 no.lu örnek karbonat, kil, kuvars, pirit, demir oksit mineralleri ile %3-4 civarında organik maddeden oluşmaktadır. Kil ve inorganik madde içerisinde gözlenen pulsu organik maddenin tane boyu 4-10 mikron arasında değişmekte olup yer yer tane boyu 20-80 mikron arasında değişen iri boyutlu grafitler de gözlenmektedir. Organik madde üzerinde yapılan yansıtma ölçümleri metaantrasit-grafit geçişini işaret etmektedir (Şekil 14).

BS-21/7-P1 no.lu örnekte ise az miktarda rutil, limonit, grafit, pirit ve limonit boyamaları izlenmiştir. Örnekteki grafitler yönlenmeye paralel ve yer yer bükülmüş şekilde bulunmaktadır. Örnekte submikroskopik boyda pirit tanelerinin etrafı limonitleşmiş olarak gözlenmektedir (Şekil 15).

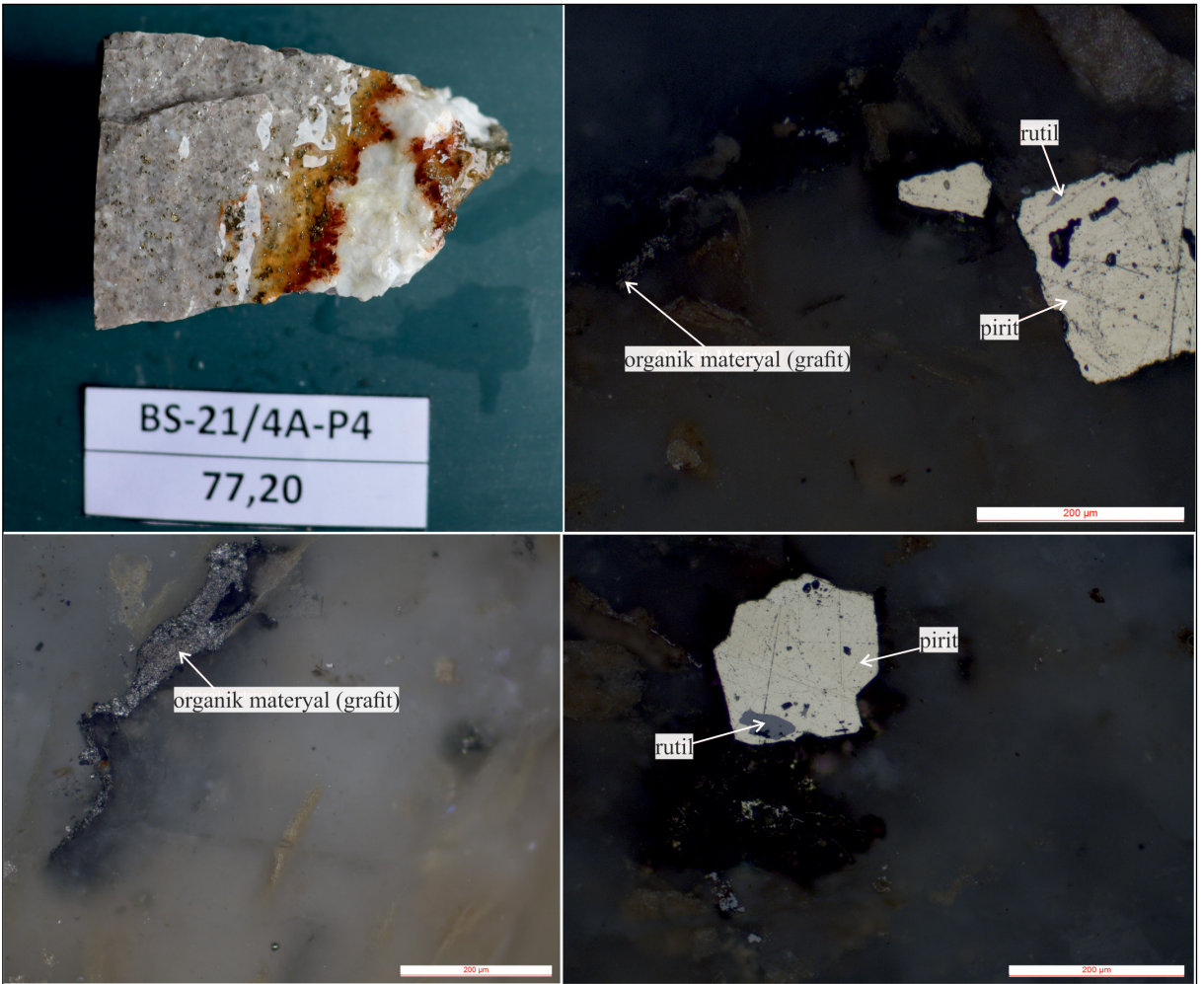
BS-21/4A-P4 no.lu örnekte saçınımlı, küçük boyutlu (50-100 mikrometre), yer yer bükülmeler gösteren grafit mineralleri izlenmektedir. Grafit kristallerinin kayacın genel yönelimine uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 16).



Şekil 14- BS-21/7 no.lu sondajdan alınan petrografi örneğinin makro ve mikro görüntüleri.



Şekil 15- BS-21/7 no.lu sondajdan alınan petrografi örneğinin makro ve mikro görüntüleri.



Şekil 16- BS-21/4A no.lu sondajdan alınan petrografi örneğinin makro ve mikro görüntüleri. Örnekte (organik materyal) grafitin yanı sıra pirit, rutil, mangan grubu mineralleri ve limonit mineralleri de tespit edilmiştir.

Besi Tepesi ve civarında yapılan farklı sondajlara ait grafit mineralizasyonu olan seviyelerden alınmış 24 adet örnekte XRD çalışmaları yürütülmüştür (Çizelge 4). Örneklerde ana mineral olarak kuvars, mika/illit, klorit, kalsit, pirit gözlenmektedir. Bunlardan başka bolluk sırasına göre dolomit, plajiyoklas, alkali feldispat, siderit, hematit, manyetit, götüt ve kil mineralleri belirlenmiştir.

8. Tartışma ve Sonuçlar

Besi Tepesi mevkiinde demir cevherleşmesine yönelik olarak yapılan sondajlarda oldukça kalın meta antrasit-grafitik kayaç içeren birimler kesilmiş olup söz konusu birimlerin ekonomik önemlerine yönelik olarak çalışma yürütülmüştür. Toroslarda yapılan öncel jeoloji çalışmalarda çalışma alanına en yakın grafit içeren birimler Anamur-Bozyazı dolaylarında tanımlanmıştır. Bu bakımdan çalışmanın,

Orta Toroslar'ın jeolojisi ve stratigrafisine de önemli katkılar sağladığı düşünülmektedir.

Grafitlerin metamorfik masiflerde ve magmatik kayaç yakınlarında bulunanlarının diğer yerlerdekilere kıyasla daha kaliteli mineralizasyonlar olduğu bilinmektedir. Çalışma alanındaki litolojiler düşük dereceli metamorfizma özellikleri gösterir ve yörede herhangi bir magmatik sokulumun varlığı bilinmemektedir. Ancak yoğun tektonik etki ve deformasyon izleri geniş alanlarda izlenmektedir. Vitrinit yansımalarına göre grafitleşme derecesi düşük sıcaklıklarda deformasyonla artmaktadır. Kontakt halelerde bölgesel metamorfitleşmeye göre grafitleşme daha geç oluşmaktadır ve modal karbon, metan uçuculuğu ve geçirgenlikle korele edilebilmektedir (İtaya, 1981). Buna göre yörede bulunan organik maddece zengin litolojilerden Büyükeceli grafit mineralizasyonunun gelişmesinde,

Çizelge 4- Besi Tepesi sondajlarındaki grafitik kayaç örneklerine ait XRD analiz sonuçları tablosu.

Numune No	Kuvars	Kalsit	Dolomit	Klorit	Mika/İllit	Plajiyoklas	A. Feldispat	Kil minerali	Pirit	Siderit	Hematit
BS-21/1-X1	+		+	+	+					+	
BS-21/1-X9	+	+	+	+	+	+			+		
BS-21/1-X10	+	+	+					+		+	
BS-21/2-X3	+					+					+
BS-21/2-X4	+			+	+	+					+
BS-21/2-X8	+	+			+	+			+		
BS-21/3-X1	+			+	+	+	+		+		
BS-21/3-X8	+	+		+	+	+			+		
BS-21/3-X9	+	+		+	+		+		+		
BS-21/3-X10	+	+	+	+	+						
BS-21/4-X10	+	+		+	+		+		+		
BS-21/4-X11	+	+	+	+	+	+	+		+	+	
BS-21/4-X12	+	+	+	+	+						
BS-21/4A-X8	+	+	+		+	+			+		
BS-21/4A-X11	+	+		+	+	+			+		
BS-21/4A-X12	+	+		+	+	+	+		+		
BS-21/5-X3	+	+		+	+		+		+		
BS-21/6-X1	+	+	+	+	+				+		
BS-21/6-X2	+	+		+	+				+		
BS-21/6-X3	+	+	+	+	+		+		+		
BS-21/6-X4	+	+	+	+	+				+		
BS-21/7-X1	+			+	+	+	+	+	+		
BS-21/7-X2	+	+	+	+	+		+		+		
BS-21/7-X3	+	+	+	+	+						

kontakt zonlarda meydana gelen yoğun deformasyon etkisiyle sıcaklık ve basınç artışlarının önemli payının olduğu söylenebilir.

Sondajlarda grafit mineralizasyonuna ait karot örneklerinde yapılan son derece detaylı analizlere göre organik maddeler pulsu (<10 mikron) ve çubuksu (20-50 mikron uzunluğunda) şekillerde, inorganik madde içerisinde ise saçınımlı halde gözlenmektedir. Karotlarda yer yer tane boyu 20-100 mikron arasında değişen iri serbest taneler de gözlenmektedir. Organik maddede ölçülen rastgele yansıtma ölçümleri Rmin %3,89 Rmax %15,91 aralığında değişmekte olup kömürleşme derecesi meta antrasit-semi grafit-grafitik kayaç aşamasında değişmektedir.

Gerek Ülkemiz gerekse Avrupa Birliği tarafından stratejik hammadde olarak kabul edilen grafit mineraline yönelik arama çalışmalarının artarak devam etmesi son derece önemlidir. Bu çalışmalarda hedef alanlar belirlenirken sadece metamorfik masifler ve granitik kütle yakınları değil Büyükeceli’de olduğu gibi yoğun tektonik deformasyon etkilerinin gözlemlendiği organik madde içeren sahalarda da grafit zenginleşmesinin gelişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Katkı Belirtme

Bu araştırma 2021-2022 yılları arasında, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından uygulanan Orta ve Doğu Toroslar Demir Aramaları Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bu makalenin içerik, MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi yayım kurallarına uygunluk açısından titizlikle inceleyerek düzeltmeleri ve yapıci eleştirileriyle katkıda bulunan Hakem ve Editörlere, Jeoloji Yüksek Mühendisi Mesut Gökhan GÜMRÜK’e ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Mineraloji ve Petrografi Birimi petrograflarına, Birim Yöneticisi Jeoloji Mühendisi Gülender DEMİRCİ ve Jeoloji Yüksek Mühendisi Gökçe GÜRTEKİN’e teşekkür ederiz.

Değinilen Belgeler

Alan, İ., Şahin, Ş., Keskin, H., Altun, İ., Bakırhan, B., Balcı, V., Böke, N., Kop, A.C., Haniçlı N., Esirtgen, T., Elibol, H. 2011. Orta Toroslar’ın Jeodinamik

Evrimi Bozyazı-Aydıncık-Gülner-Silifke (Mersin) Yöresi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11462, Ankara (yayımlanmamış).

Bıçen, C. 1977. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Mersin İli Gülner-Silifke Yöresi Demir Cevheri Oluşukları İstikşaf Safhası Raporu Rapor No: 6337, Ankara (yayımlanmamış).

Dean, W. T., Monod, O. 1970. The Lower Paleozoic stratigraphy and faunas of the Taurus Mountains near Beyşehir Turkey: 1. stratigraphy. Bulletin of the British Museum (Geology) 19, 8, 411.

Demirtaşlı, E. 1978. Ermenek batısında Göktepe-Dumlugöze-Tepebaşı arasında kalan sahanın jeolojisi; 32. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özetleri, 31.

Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F. 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Ölçek 1:1.250.000. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi 30, Ankara.

İlhan, A., Sarı, R., Yıldırım, Y. 2020. Hidden graphite resources in Turkey: a new supply candidate for Europe, European Geologist 49.

İtaya, T. 1981. Carbonaceous material in pelitic schiste of the Sanbagawa metamorphic belt in Central Shikoku, Japan, Lithos 14, 215-224.

Karabacak, 2018. Oysu Graphite Project, November 2018 Update. 55 – URL: <https://www.nardera.com/wp-content/uploads/2018/12/Oysu-Graphite-Project-Report.pdf>, 06/2020.

Kwicińska, B., Petersen, H. I. 2004. International Journal of Coal Geology Volume 57, Issue 2, 20 February 2004, Pages 99-116, Graphite, semi-graphite, natural coke, and natural char classification—ICCP system.

Malayoğlu, U., Çiçek, T., Akar, A. 1999. Investigation of Enrichment of Muğla-Milas Graphite Ore by Flotation Method. The 3rd Industrial Raw Materials Symposium, İzmir.

MTA, 2017. Activity Report. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Turkey. https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/kurumsal/belgeler/faaliyet_raporu_2017.pdf (Erişim tarihi: 02.05.2023).

Özalp, S., Demirkol, C. 2003. Orta Toroslar’da Büyükeceli (Gülner)-Yeşilovacık (Silifke) Dolayının Tektono-Stratigrafi Birimleri, Geosound Yerbilimleri Dergisi 42, 73-96

- Özgül, N., Gedik, İ. 1973. Orta Toroslar'da alt Paleozoyik yaşta Çaltepe Kireçtaşı ve Seydişehir Formasyonu'nun stratigrafisi ve konodont faunası hakkında yeni bilgiler: Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni 16, 39-52.
- Özgül, N., Kozlu, H. 1993. Kozan-Feke-Mansurlu arasının jeolojisi. TPAO Raporu No:3380, 127, Ankara (yayımlanmamış).
- Pehlevan, M. 2009. Kastamonu-İnebolu-Gölmet (Ar: 91283), Kastamonu-İnebolu-Dibek (Ar: 91286), Kastamonu-Merkez (Ar: 93038)-(Ar: 93039)-(Ar: 93040) ve (Ar: 95205) Grafit Ruhsat Sahalarının Maden Jeolojisi Raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11339. Ankara (yayımlanmamış).
- Tiringa, D., Çelik, Y., Demirkıran, G., Ateşçi, B., Yüceel, S., Niğdeli, S. F, Aksoy, T. 2019. Kırklareli-Demirköy-Balaban Yöresindeki Ar:201400302 (Er:3317272) No'lu IV. Grup Ruhsat Sahasına Ait Demir Madeni Buluculuk Talebine Esas Maden Jeolojisi ve Kaynak Tahmin Raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 13770, Ankara (yayımlanmamış).
- Uzumer, A., Tiringa, D. 2021. Mersin (Gülнар-Silifke) civarı demir arama çalışmaları, İlk bulgular MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni 31, 27-33.
- Yığmatepe, M., Kırbaş, H. 2019. Kahramanmaraş-Göksun-Fındıklıkoyak Köyü S:201201296 (Er:3079520) No'lu Iv. Grup Ruhsat Sahasına Ait Grafit Kaynak Kestirim Ve Maden Jeolojisi Raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 13817, Ankara (yayımlanmamış).