



Antalya-Çıralı (GB-Anadolu) Yöresinde Bulunan Doğalgaz Emarelerinin Kökeni ve Doğu Akdeniz Bölgesinin Jeolojik Yapısı İçindeki Konumu ve Önemi

The Origin of Natural Gas Seeps in the Antalya-Çıralı Region (SW-Anatolia) and Their Location and Importance Within the Geological Setting of the Eastern Mediterranean Region

Fuzuli Yağmurlu*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta-Türkiye

• Geliş/Received: 29.04.2024 • Düzeltmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 05.07.2024 • Kabul/Accepted: 08.07.2024
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 01.12.2024 • Baskı/Printed: 31.05.2025

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Antalya-Çıralı yöresinde bulunan ve Chimaera -Yanartaş olarak bilinen doğalgaz emareleri günümüzde Doğu Akdeniz Bölgesinde bilinen en önemli hidrokarbon emarelerinden biridir. Yöredeki doğal gaz emareleri Antalya naplarının bir bileşeni olan ve ileri derecede serpantinleşmiş Tekirova peridotit napının batı bölümünde yer alır. Antalya napları Kumluca bölgesinde Beydağları kireçtaşlarının yanı sıra Kasaba-Finike havzasını dolduran Paleojen – Neojen yaşlı denizel tortulları çok katlı bindirmeli bir dokanakla üzerler.

Finike havzasını dolduran Paleojen - Neojen yaşlı tortullar yaşları Eosen ile Erken-Orta Miyosen arasında değişen kırıntılı ve karbonatlı tortul bileşenlerinden oluşur. Miyosen istifinin en alt bölümünde yer alan Akitaniyen yaşlı karboanat kayalar, büyük bölümü ile resifal özellik gösteren kalın katmanlı mercanlı kireçtaşlarından yapıldır. Finike yöresindeki kalınlığı 300 metreye ulaşan Akitaniyen (Erken Miyosen) yaşlı resifal kireçtaşları, yansıttıkları gözenekli doku nedeniyle mükemmel bir rezervuar kaya özelliğine sahiptir.

Finike havzasında Akitaniyen kireçtaşlarını uyumlu bir dokanakla üzerleyen Burdigaliyen yaşlı tortullar egemen olarak şeyl, karbonlu şeyl, çamurtaşı ve bunlara eşlik eden türbiditik tortullardan yapıldır. Burdigaliyen istifinin altında bulunan ve karbonlu şeylden oluşan ince taneli tortul bileşenler, bu istifin çok iyi derecede ana kaya ve örtü kaya özelliklerine sahip olabileceğini göstermesi bakımından önemlidir.

Finike havzasını dolduran tortulların stratigrafik konum, bileşim ve doku özellikleri göz önüne alındığında, Çıralı yöresindeki doğalgaz emarelerinin daha çok allokon birimlerin altında yer alan Erken-Orta Miyosen yaşlı Paleojen - Neojen tortullarından türediğini ve biyotik kökene sahip olabileceğini belirtmek mümkündür. Diğer taraftan, Doğu Akdeniz bölgesinde günümüze dek bulunan doğal gaz yataklarının tümünün Miyosen yaşlı denizel tortul istif içinde yer almış olması, bu tezimizi destekleyen en önemli veri olarak değerlendirilebilir.

Anahtar kelimeler: Antalya-Çıralı, doğalgaz emaresi, Finike Paleojen - Neojen havzası

Abstract: Natural gas seeps known as Chimaera -Yanartaş, found in the Antalya-Çıralı region, are one of the most important hydrocarbon seeps known in the Eastern Mediterranean Region. Natural gas seeps in the region are located in the western part of the highly serpentinized Tekirova peridotite nappe, which is a component of the Antalya nappes. The Antalya nappes overlie the Beydağları limestones in the Kumluca region, as well as Tertiary marine sediments filling the Finike basin, with multiple thrust contacts.

Tertiary sediments filling the Finike basin consist of clastic and carbonate sedimentary components ranging in age from Eocene to Early-Middle Miocene. The Aquitanian carbonate rocks located at the bottom of the Miocene sequence are mostly composed of thick-layered coral limestones with reef characteristics. Aquitanian reefal limestones in the Finike region, with a thickness of up to 300 meters, have excellent reservoir rock properties due to their porous texture.

Burdigalian sediments, which overlie the Aquitanian limestones with a concordant contact in the Finike basin, are predominantly composed of shale, carbonaceous shale, mudstone and accompanying turbiditic sediments. The organic matter-rich sedimentary content of the Burdigalian sequence and the accompanying turbiditic components are important as they indicate that this sequence may have very good source rock and cover rock properties.

Considering the stratigraphic position, composition and texture of the sediments filling the Finike basin, it is possible that the natural gas seeps in the Çıralı region are derived from the Early-Middle Miocene Tertiary sediments located under the allochthonous units and may have biotic origin. The fact that all the natural gas deposits found in the Eastern Mediterranean region up to the present day are located in the Miocene marine sedimentary sequence can be considered as the most important data supporting this thesis.

Keywords: Antalya-Çıralı, natural gas seeps, Finike Paleogene-Neogene basin

GİRİŞ

Son yıllarda Doğu Akdeniz’de İsrail’in batısında ve Kıbrıs’ın güneyinde yer alan Levantin Havzasında ve Nil Deltası açıklarında denizel fasiyeste çökelmiş Erken ve Orta Miyosen yaşlı tortullar içinde dev boyutta yeni doğal gaz rezervleri keşfedilmiştir. Bu gelişmeden sonra Akdeniz’i çevreleyen denizel Neojen havzalarının ve bu havzalarda yer alan Erken-Orta Miyosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayaların doğal gaz potansiyeli açısından önemi daha da artmıştır. Bu durumda özellikle Anadolu’nun güneyinde ve GB-Anadolu bölgesinde yer alan Paleojen - Neojen havzalarının ve bu havzalar içinde yer alan Erken ve Orta Miyosen yaşlı karbonat kayaların ve kırıntılı tortulların doğal gaz potansiyeli açısından, ayrıntılı biçimde yeniden gözden geçirilmesi, günümüzde büyük önem arz eden konuların başında gelmektedir. Diğer taraftan GB-Anadolu’da yer alan Paleojen - Neojen havzalarının birbirleriyle olan stratigrafi ve litofasiyes ilişkilerinin ortaya çıkarılması ve bu havzaların Doğu Akdeniz Bölgesinde doğal gaz içeren diğer havzalarla korelasyonun yapılması, en önemli güncel araştırma konularının başında gelmektedir. Bu nedenle GB-Anadolu’da yer alan Paleojen - Neojen havzaları ve bunların

litostratigrafi özellikleri bu çalışmada öncelikle ele alınacaktır.

GB Anadolu’da yer alan Paleojen-Neojen tortullarını ana çizgilerde karasal ve denizel olmak üzere iki farklı fasiyeste toplamak mümkündür. Karasal tortullar büyük bölümü ile Isparta Açısının kuzey bölümlerinde yaygın olmasına karşın, denizel fasiyeste çökelmiş olan tortullar daha çok Isparta Açısının güneyinde yer alan havzaları doldurmuştur. Isparta Açısının güneyinde yer alan denizel Paleojen – Neojen havzaları batıdan doğuya doğru; Kasaba-Finike, Aksu ve Manavgat havzaları olarak tanımlanmıştır. Bu havzalar çoğunlukla yaşları Erken Miyosen ile Pliyosen arasında değişen kırıntılı ve karbonatlı tortullar ile doldurulmuştur.

Önceki yıllarda GB-Anadolu’da yer alan Paleojen - Neojen havzalarının jeolojik ve sedimantolojik özellikleri, her bir havza ayrı ayrı ele alınmak suretiyle, birçok yerli ve yabancı araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Bu araştırmacılar Hayward (1982), Flecker vd. (2005), Glover ve Robertson (1998), Poisson vd. (2003), Koşun vd. (2009), Aksu, Manavgat ve Kasaba-Finike havzalarını dolduran Paleojen - Neojen yaşlı tortulların stratigrafi konumları ve litofasiyes özellikleri yanı sıra, bunların tektono-

sedimanter evrimlerini konu alan çalışmalar yapmışlardır. Diğer taraftan, Altunsoy (1999) ile Yağmurlu vd. (2007), daha çok Isparta açısı içinde yer alan Paleojen – Neojen ve öncesi kaya birimlerinin organik jeokimyasal özelliklerini ve petrol jeolojisi açısından önemlerini araştırmışlardır.

Kasaba-Finike havzasında geniş yayılım gösteren denizel fasiyeste çökelmiş Paleojen - Neojen tortul istifi, alttan üste doğru, Eosen yaşlı türbiditik tortullar ile bunları uyumsuz olarak üstleyen Erken Miyosen (Akitaniyen) yaşlı resifal kireçtaşları ile bunların üzerine uyumlu olarak gelen Burdigaliyen (Erken Miyosen) yaşlı türbiditik tortullardan oluşur (Koşun vd., 2009). Paleojen - Neojen istifinin alt bölümünde yer alan Akitaniyen yaşlı resifal kireçtaşlarının kalınlığı, Isparta-Kışla Köyü yöresinde 50 m olmasına karşın, kuzeyden güneye doğru artarak, Kasaba-Finike havzasında 300 metreye dek ulaşır. Paleojen - Neojen istifi içinde yer alan Burdigaliyen yaşlı türbiditik tortullar, bazı kesimlerde organik maddece zengin olabilen oldukça kalın çamurtaşı ara düzeyleri içerir. Altunsoy (1999) ve Özçelik vd. (2009), bölgede yer alan Erken Miyosen yaşlı resifal kireçtaşları ve denizel çamurtaşı ve şeyllerin içerdiği organik madde seviyesi bakımından orta ile iyi derecede ana kaya özelliğine sahip olduklarını vurgular. Bunun yanı sıra, Kasaba-Finike, Aksu ve Manavgat havzalarında geniş bir yayılım gösteren Akitaniyen yaşlı resifal kireçtaşları, gözenekli dokuları nedeniyle, denizel Paleojen - Neojen istifi içinde çok iyi derecede sayılabilecek hazne kaya özelliklerine sahiptir.

Diğer taraftan, Kemer yöresinde yapılan saha çalışmalarında, Çıralı yöresindeki doğal gaz emarelerinin Antalya naplarına ait serpantinleşmiş peridotit napı içinde yer aldığı ve bu peridotitlerin, Mesozoyik yaşlı karbonat kayaları yanı sıra, yöredeki Paleojen - Neojen tortullarını tektonik bir dokanakla üzerlediği belirlenmiştir. Benzer şekilde, Kumluca'nın doğusundaki alanlarda, Antalya naplarına ait ofiyolitlerin, yöredeki

Paleojen - Neojen tortulları üzerine bindirmiş oldukları açık olarak gözlenir.

Önceki yıllarda Çıralı bölgesindeki doğal gaz oluşuklarının kökenini araştıran bazı araştırmacılar (Hoşgörmez, 2007; Hoşgörmez vd., 2008; Etiop vd., 2011), bu doğal gaz emarelerinin abiotik kökenli olduğunu ve serpantinleşmeye bağlı olarak gelişmiş olabileceğini belirtmişlerdir. Ancak, son yıllarda Doğu Akdeniz bölgesinde bulunan doğal gaz yataklarının tümü Paleojen - Neojen tortul istifi içinde yer almaktadır.

Bu makalede Kaş-Kasaba, Finike ve Kumluca yöresinde yayılım gösteren Paleojen - Neojen tortullarının stratigrafik, sedimantolojik ve organik jeokimyasal özelliklerinin irdelenmesi yanı sıra, Kemer-Çıralı yöresinde bulunan doğal gaz emarelerinin bölgesel jeolojik yapı içindeki konumu ve kökeni konusunda değerlendirmeler yapılacaktır. Paleojen - Neojen öncesi kaya birimlerinin alansal yayılımları ve yanal yöndeki kalınlık değişimleri, daha önce yörede yapılan jeolojik harita alımlarına dayanılarak ortaya konulmuştur. Diğer taraftan, bölgede ayırt edilen kaya birimlerinin stratigrafik özellikleri ile bunlar arasındaki dokanak ilişkileri, önceki araştırmaların yanı sıra, bu çalışma sırasında yapılan ayrıntılı lokal harita alımlarına ve saha gözlemlerine dayanılarak ortaya konulmuştur.

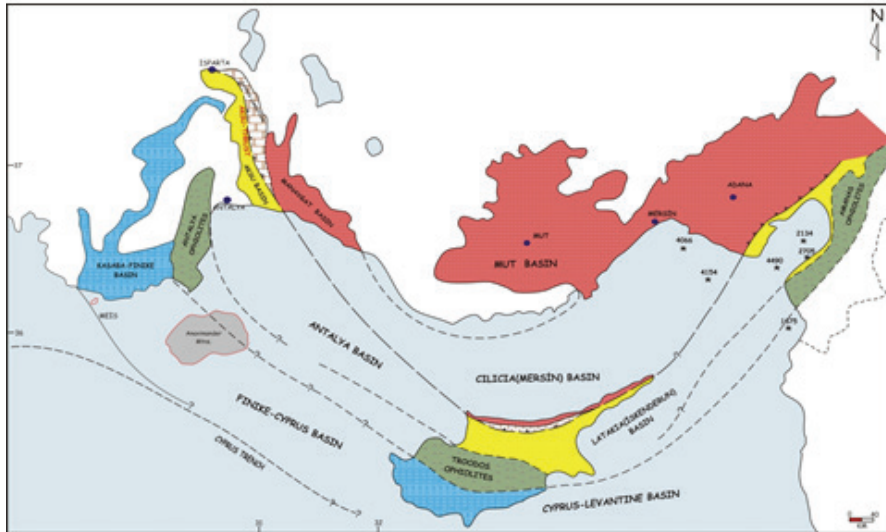
GB-ANADOLU'DA YER ALAN PALEOJEN-NEOJEN HAVZALARININ BÖLGESEL JEOLJİK KONUMU

GB-Anadolu'da Antalya Körfezi ve çevresi ile bunun doğusunda yayılım gösteren denizel Paleojen - Neojen havzaları, batıdan doğuya doğru, Kaş-Kasaba, Finike, Aksu, Manavgat, Mut ve Adana havzaları olarak tanımlanmıştır. Kıbrıs ve Doğu Akdeniz havzalarının jeolojik özellikleri ile bunların bölgesel tektonik yapı içindeki konumları Robertson (1998), Robertson vd. (1995, 2004), Payne ve Robertson (1995), Eaton ve

Robertson (2004), Boulton ve Robertson (2007), Aksu vd. (2005, 2009), Hall vd. (2005a ve 2005b) ile Hakyemez ve Toker (2010) tarafından detaylı biçimde incelenmiştir. Diğer taraftan, Manavgat, Adana ve Mut havzalarını dolduran tortulların stratigrafi özellikleri ile bunların litofasiyes dağılımları, Görür (1973), Gedik vd. (1979), Korkmaz ve Gedik, (1990), Atabey vd. (2000), İslamoğlu, (2002), Özdoğan (2004) ile İşler vd. (2005) tarafından incelenmiştir. Benzer şekilde Kaş-Kasaba havzasında yer alan Miyosen tortul istifinin stratigrafi ve sedimentoloji özellikleri önceki yıllarda Hayward (1982), İslamoğlu ve Taner (2002) ile Koşun vd. (2009) tarafından incelenmiştir. Aksu havzası ile bunun kuzeyinde Kışla Köy çevresinde yer alan Paleojen - Neojen tortullarının stratigrafi konumları, Poisson vd. (2003), Flecker vd. (2005), ile Yağmurlu vd. (2007), tarafından ele alınmıştır. Diğer taraftan, Gedik vd. (1979), Korkmaz ve Gedik, (1990), Altunsoy, (1999), Özçelik vd. (2009) ve Atabey vd. (2000) gibi araştırmacılar, Aksu, Kaş-Kasaba ve Mut havzalarında yer alan Erken Miyosen yaşlı denizel karbonatların ve ince taneli kırıntılı tortulların organik jeokimyasal özelliklerini araştırmışlardır.

Paleojen - Neojen öncesi temel yükseltileri ile birbirlerinden ayrılan ve birbirleri ile bağlantılı olan bu havzalar, ana çizgilerde benzer tortul dolgu özelliği gösterirler (Şekil 1).

Şekil 1'de verilen bölgesel harita incelendiğinde, Doğu Akdeniz bölgesinde Kıbrıs adasında geniş bir yayılım gösteren Troodos ofiyolitlerinin batıda Antalya, doğuda ise Amanos ofiyolitleri ile deneştirilmesi mümkündür. Buna göre, Antalya-Troodos-Amanos ofiyolitik kuşağının güneyinde yer alan Kıbrıs-Levanten Paleojen - Neojen havzasının, Kasaba-Finike havzası ile benzer konumda olduğu ve birbirleriyle bağlantılı olabileceği ortaya çıkar. Benzer şekilde, Aksu havzasının da Latakia – İskenderun havzası ile Manavgat havzasının ise Adana-Mersin havzaları ile eşleştirilmesi mümkün olacaktır. Doğu Akdeniz bölgesinde 2005 yılından beri keşfedilen yeni doğal gaz yataklarının çok büyük bölümü Kıbrıs-Levanten havzasını dolduran Paleojen - Neojen tortul istifi içinde yer almaktadır. Bu nedenle, Levanten havzasının batıda ki uzanımına karşılık gelen Kasaba-Finike havzası ile bu yörede ki Çıralı doğal gaz emarelerinin konumları büyük önem kazanmaktadır.



Şekil 1. Doğu Akdeniz Bölgesinde ve Antalya çevresinde yer alan denizel Miyosen havzalarının konumları, dağılımları ve birbirleri ile olan ilişkileri.

Figure 1. Locations, distributions and interrelationships of Miocene marine basins in the Eastern Mediterranean region and around Antalya.

Yukarıda özetlendiği gibi, şimdiye dek yörede yapılan çalışmalarda Çıralı yöresindeki doğal gaz emarelerinin çıkışlarını kontrol eden jeolojik yapılar ile allokton birimler altındaki otokton birimlerin konumları ayrıntılı biçimde ortaya konulamamıştır. Bu nedenle, sunulan bu makalede, Kasaba-Finike havzası ve Çıralı doğal gaz emarelerinin jeolojik özellikleri ayrıntılı biçimde ele alınacak ve irdelenecektir.

BÖLGESEL JEOLJİ

Kemer-Çıralı yöresi, konum olarak Isparta Açısının batı kanadı üzerinde yer alır. Isparta Açısı daha çok Batı Toroslari oluşturan dağ kuşağının Antalya Körfezi'nin kuzeyinde bükülmesi ve ters "V" oluşturmaları sonucu oluşmuştur. Kissel vd., (1993), paleomanyetik verileri dikkate alarak Isparta Açısının doğu kanadının Eosenden günümüze dek saatin dönüş yönünde 35-40 derecelik bir rotasyona uğradığını belirtirler. Aynı yazarlar, batı kanadının ise Miyosenden bu yana saatin tersi yönde 35-40 derecelik rotasyona uğradığını ve Isparta Açısının bugünkü konumuna ulaştığını belirtirler.

Kuzey-Güney yönünde uzanım gösteren Eğirdir-Kovada grabeni Isparta Açısını iki farklı bölüme ayırır. Eğirdir-Kovada grabeninin batısında kalan ve Beydağlarını oluşturan bölüm "batı kanat", grabenin doğusunda kalan ve Akseki-Anamas yükseltisini meydana getiren bölüm ise "doğu kanat" olarak tanımlanır (Poisson vd., 2003).

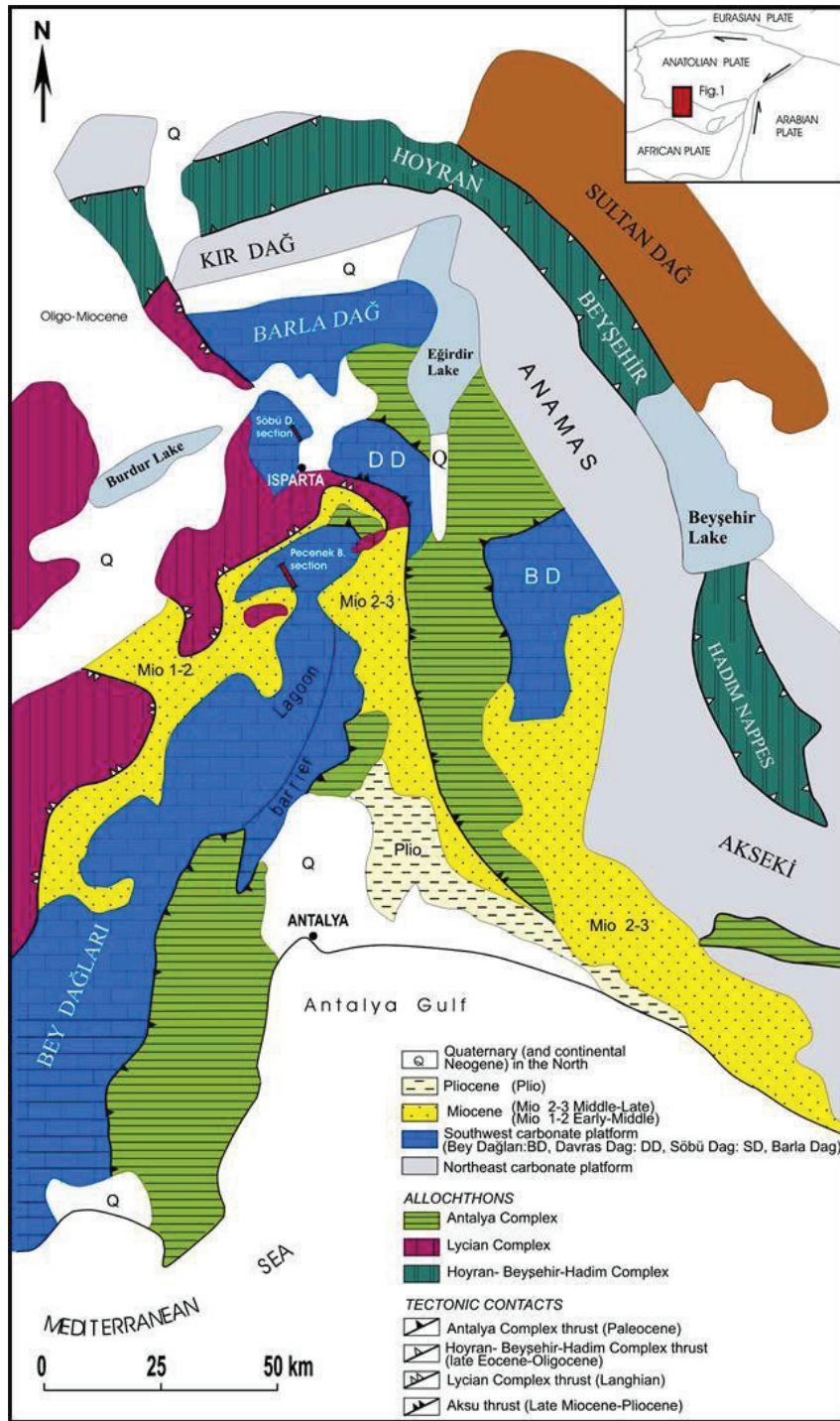
Beydağları bölgesinde, yaşları Triyas'tan Geç Kretase'ye kadar değişen otokton konumlu karbonat kaya istifi yer alır. Bu bölgede bulunan Triyas yaşlı karbonat kaya istifi altta bulunan Geç Paleozoyik (Permo-Karbonifer) yaşlı tortul

istifi uyumsuz olarak üstlenmektedir. Tahtalıdağ yöresinde Karbonifer yaşlı kırıntılı tortul düzeyler içinde kömürlü oluşuklar olağan olarak gözlenir (Yağmurlu vd., 2007).

Isparta Açısının doğu kanadını oluşturan Akseki Anamas istifi, ana çizgilerde Beydağları ile benzer özellikler taşımasına karşın bazı önemli litofasiye değişimleri gösterir. Anamas bölgesinde eksiksiz olarak gözlenen Mesozoyik serisi içinde, egemen olarak kırıntılı tortullardan oluşan Liyas yaşlı karasal tortullar yaygın olarak gözlenir. Bu karasal tortullar içinde kaba taneli çakıltası ve kumtaşından oluşan kanal dolgular ile kömürlü ara katkılar olağan olarak gözlenir. Anamas Dağı bölgesinde yer alan Mesozoyik istifi, altta bulunan Erken Paleozoyik (Ordovisiyen) yaşlı düşük dereceli metamorfik kayaları (Sultandağı metamorfik serisi) açılı bir uyumsuzlukla üstler (Yağmurlu vd., 2007).

Isparta Açısı batıdan Likya napları, doğudan ise Beyşehir-Hoyran napı olarak isimlendirilen allokton ofiyolitik kaya birimleri tarafından sınırlanır (Şekil 2). Antalya naplarını oluşturan ofiyolitik kaya toplulukları Isparta Açısının güney bölümünde yayılım gösterir. Antalya naplarını oluşturan allokton kaya birimleri batıda Beydağları, doğuda ise Anamas-Akseki platformunu tektonik olarak üzerler (Poisson vd. 2003, Yağmurlu vd., 2007).

Önceki yıllarda bölgede çalışan araştırmacıların büyük bölümü, Likya napları ile Beyşehir – Hoyran naplarının Geç Eosen ile Geç Miyosen arasında kalan zaman aralığında bölgeye yerleştiğini öne sürmüşlerdir (Şenel, 1984; Dilek ve Rowland, 1993; Glover ve Robertson, 1998). Aynı araştırmacılar, Antalya naplarının yerleşimi için Geç Kretase – Erken Paleosen arasında kalan dönemi uygun görmüşlerdir.



Şekil 2. Isparta Açısı ve yakın çevresinde yayılım gösteren otokton ve allokton kaya birimleri ile Paleojen-Neojen havzalarının basitleştirilmiş jeoloji haritası üzerindeki konum ve dağılımları (Poisson vd., 2003).

Figure 2. Location and distribution of autochthonous and allochthonous rock units in the Isparta Angle and immediate surroundings, and the Paleogene-Neogene basins on a simplified geological map (Poisson et al. 2003).

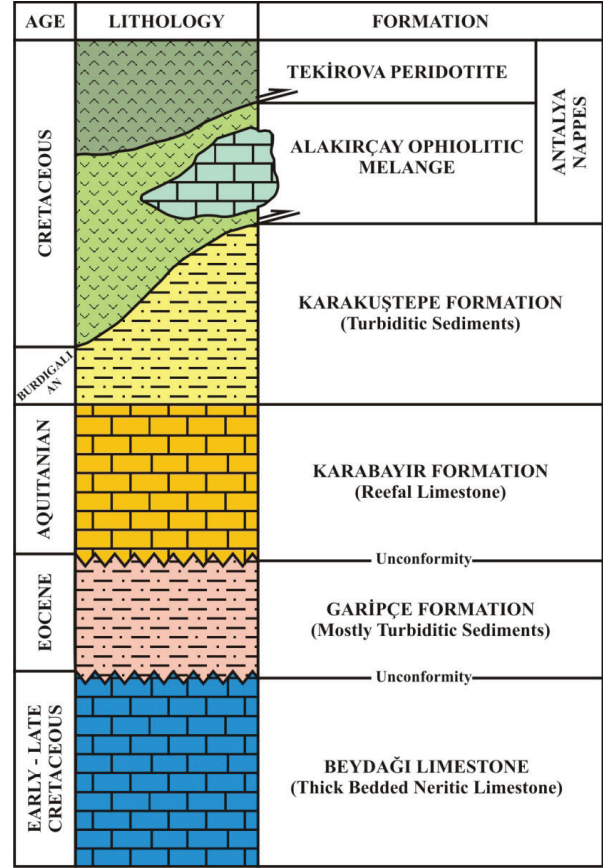
Şekil 2’de görüldüğü gibi, denizel fasiyeste çökelmiş tortul bileşenler içeren Paleojen - Neojen havzaları Isparta Açısının güneyinde yayılım gösterir. Antalya’nın kuzeyinde yer alan Aksu havzasına ait denizel tortullar doğudan Aksu bindirmesi ile sınırlanır. Aksu havzasını dolduran tortullar başlıca Orta ile Geç Miyosen arasında değişen kırıntılı ve karbonatlı tortul bileşenlerden oluşur ve batıda Beydağlarını oluşturan otokton karbonat kayaları uyumsuz olarak üstler. Benzer şekilde Manavgat havzasını dolduran Paleojen - Neojen (Orta-Geç Miyosen) yaşlı tortul istif ise doğuda yer alan Anamas-Akseki platformuna ait Mesozoyik yaşlı karbonat kayaları uyumsuz olarak üstler.

Bunun yanı sıra, Likya naplarına ait allokon ofiyolitik kaya toplulukları Beydağlarının yanı sıra, Kasaba-Finike havzasını dolduran Paleojen - Neojen yaşlı otokton birimleri bindirmeli bir dokanakla üzerler. Kasaba -Finike havzasını dolduran Erken-Orta Miyosen yaşlı tortullar egemen olarak resifal kireçtaşları ile bunları üstleyen türbiditik tortullardan meydana gelir ve doğuda Beydağlarına ait Mesozoyik yaşlı otokton karbonat kayaları ile bazı kesimlerde Antalya naplarına allokon birimleri uyumsuz olarak üstler.

FİNİKE ve ÇIRALI ÇEVRESİNİN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Finike – Çıralı yöresi ana çizgilerde Antalya Körfezi’nin batısında yayılım gösteren Antalya napları ile Beydağları otoktonu arasında yer alır. Şekil 3’te verilen genelleştirilmiş kesit üzerinde görüldüğü gibi, Finike, Kumluca ve Çıralı çevresinde yer alan kaya birimlerini otokton ve allokon olmak üzere iki grup içinde toplamak mümkündür. Bölgedeki otokton kaya birimleri, Mesozoyik yaşlı Beydağları karbonat istifi ile Kasaba-Finike havzasını dolduran Paleojen - Neojen yaşlı tortullardan meydana gelmektedir. Çıralı-Finike arasındaki bölgede geniş yayılım gösteren karmaşık içyapı özelliğine sahip Antalya

napları, bölgenin en önemli allokon kaya topluluğunu oluşturmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Kasaba-Finike Paleojen-Neojen havzasında ve Çıralı çevresinde yer alan otokton ve allokon kaya birimlerinin stratigrafi ilişkilerini ve yapısal konumlarını gösteren tektono-stratigrafik sütun kesit (Poisson, 1984; Koşun vd. 2009 ile Uslu, 2014’ten değiştirilerek).

Figure 3. Tectono-stratigraphic column section showing the stratigraphic relationships and structural settings of autochthonous and allochthonous rock units located in the Kasaba-Finike Paleogene-Neogene basin around Çıralı (Poisson, 1984, modified from Koşun et al. 2009 and Uslu, 2014).

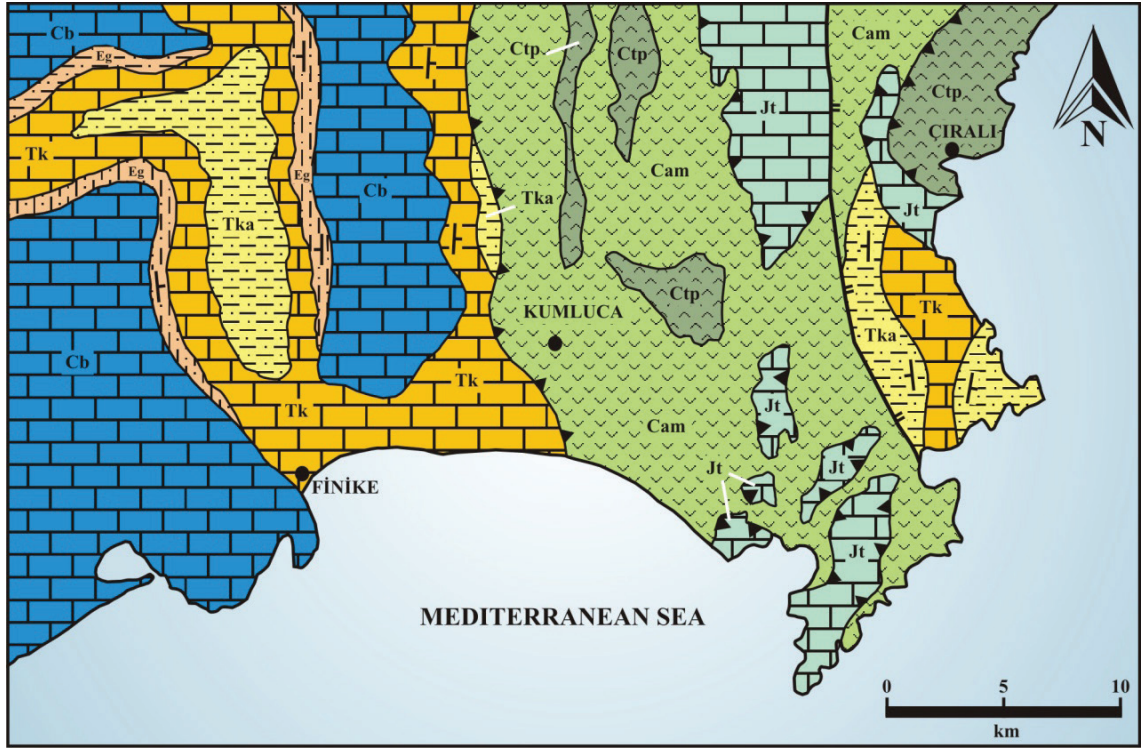
Çıralı ile Finike arasında kalan bölgenin basitleştirilmiş jeoloji haritası ile bu bölgede yer alan kaya birimlerinin dağılımları Şekil 4’de

verilmiştir. Bu harita üzerinde görüldüğü gibi, Antalya naplarına ait allohton kaya birimleri, yörede Beydağlarına ait karbonat kayaları ve Paleojen - Neojen yaşlı denizel tortulları Kumluca batısında bindirmeli bir dokanakla üzerler.

Bölgede en önemli otokton birimlerden biri olan Beydağları karbonat serisi Kumluca ile Finike arasında kalan bölgede ve Antalya Körfezinin batısında geniş yayılım gösterir. Egemen olarak neritik ve pelajik ortamda çökelmiş kireçtaşları ve dolomitlerden oluşan Beydağları serisine ait Mesozoyik yaşlı karbonat kaya istifinin kalınlığı çoğu yerde 1000 metreyi aşar. Kumluca'nın batı

bölümünde Akitaniyen yaşlı resifal kireçtaşları Beydağı kireçtaşlarına ait karbonat kayalarını aşınmalı bir uyumsuzlukla üstler. Başlıca alttaki yaşlı birimlerden türemiş bileşenler içeren taban konglomasına ait kırıntılı oluşuklar uyumsuzluk dokanağı boyunca olağan olarak gözlenir.

Yılmaz (1981), Antalya Körfezi'nin batısında yayılım gösteren Antalya naplarına ait kaya topluluklarını, egemen kaya bileşenlerini dikkate alarak, Alakırçay ofiyolit melanjı, Tahtalıdağ kireçtaşı napları ve Tekirova peridotit napı olmak üzere başlıca üç farklı birim içinde toplamıştır.



Şekil 4. Çıralı ve çevresinin basitleştirilmiş jeoloji haritası. Cam: Alakırçay ofiyolit karmaşığı, Cb: Beydağları kireçtaşı, Ctp: Tekirova peridotit napları, Eg: Eosen türbiditik tortulları (Garipçe Fm.), Jt: Tahtalıdağ kireçtaşı napları, Tk: Akitaniyen resifal kireçtaşları (Karabayır Fm.) Tka: Burdigaliyen türbiditik tortulları (Karabayır Fm.), (Uslu 2014'ten değiştirilerek).

Figure 4. Simplified geological map of Çıralı and surroundings. Cam: Alakırçay ophiolite complex, Cb: Beydağları limestone, Ctp: Tekirova peridotite nappes, Eg: Eocene turbiditic sediments (Garipçe Fm.), Jt: Tahtalıdağ limestone nappes, Tk: Aquitaniyen reefal limestones (Karabayır Fm.) Tka: Burdigalian turbiditic sediments (Karabayır Fm.), (modified from Uslu 2014).

Alakırçay melanji, egemen olarak ofiyolitik bir matriks içinde karmaşık olarak bulunan çört, radyolarit, spilitik bazalt, serpantinit, gabro, türbiditik kumtaşı ve plakette kireçtaşı bloklarından yapıldır. Tahtalıdağ napı olarak adlandırılan karbonat kayalar, yaşları Triyas'tan Jura'ya dek değışen ve çoğunlukla katmansız ve masif olabilen kireçtaşları ile bunlara eşlik eden dolomitlerden ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kemer ile Çıralı arasında yayılım gösteren ve Tekirova napı olarak tanımlanan allokon birim egemen olarak serpantinleşmiş peridotitlerden yapıldır. Yersel olarak sık gelişmiş ağsı şekilli manyezit damarları ve mikrogabrolardan oluşan dayklar ile kromit zuhurları peridotit napı içinde olağan olarak bulunur.

Kasaba-Finike havzasını dolduran Paleojen - Neojen yaşlı tortul istif içinde üç farklı kaya birimi ayırt edilmiştir. Bunlar yaşlıdan gence doğru; (1) Garipçe (Lutesiyen), (2) Karabayır (Akıtanıyen) ve (3) Karakuştepe Formasyonlarından (Burdigaliyen) yapıldır (Poisson, 1984; Koşun vd. 2009). Tersiyer istifi içinde bulunan bu kaya birimlerinin litostratigrafi özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

Garipçe Formasyonu (Lutesiyen Türbiditik Tortullar)

Finike'nin kuzey bölümünde ve Kaş-Kasaba yöresinde yayılım gösteren ve egemen olarak kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşan düzenli katmanlanma özelliğine sahip türbiditik sedimanter istif önceki araştırmacılar tarafından Garipçe Formasyonu şeklinde tanımlanmıştır (Poisson, 1984 ve Şenel, 1984). Poisson vd. (2003), Isparta güneyinde Burdigaliyen yaşlı sedimanter istifi tektonik olarak üzerleyen Eosen yaşlı türbiditik tortulları "Yavuz napı" olarak isimlendirilmiştir. Öte yandan, Isparta çevresinde geniş yayılım gösteren ve başlıca kumtaşı-şeyl ardalanmasından ve eşlik eden kireçtaşı ara düzeylerinden oluşan türbiditik istif, Yağmurlu

(1994) tarafından Kayıköy Formasyonu şeklinde tanımlanmıştır. Yağmurlu (1984) ile Poisson vd. (2003), Ispartaçay yöresinde yayılım gösteren Eosen istifinin daha çok Lutesiyen'e (Orta Eosen) ait olabileceğini belirtmişlerdir.

Birimin yaygın bileşeni olan kumtaşları yeşilimsi ile grimsi, orta ile iri taneli, çoğunlukla düzenli katmanlı ve şeyl ve çamurtaşları ile ardalanmalıdır. Kumtaşlarında tane bileşenleri egemen olarak kaya kırıntılarından yapıldır. Bileşen taneler yaygın olarak ofiyolitlerden ve kireçtaşlarından türemiştir. Tane derecelenmesi, tortullaşma ile yaşıt gelişen oluşuk içi breşler ve buruşuk katmanlanma yaygın olarak gözlenir.

Garipçe Formasyonu içinde bulunan olan şeyller, çoğunlukla açık yeşilimsi, yersel laminalı kumtaşı ara katmanlıdır. Kömürleşmiş bitkisel kalıntılar ve koyu grimsi renkte olabilen karbonlu çamurtaşı ara düzeyleri şeyl kesiti boyunca olağan biçimde gözlenir. Garipçe Formasyonunun çoğunlukla alt seviyelerinde bulunan kireçtaşı ara düzeyleri, genellikle grimsi ile sarımsı, orta ile kalın düzenli katmanlı, yersel nummulites sp. fosilli ve mikritik dokuludur. Çamurtaşı ve ince taneli kumtaşından oluşan ara düzeyler kireçtaşı kesiti içinde olağan olarak bulunur.

Karabayır Formasyonu (Akıtanıyen Mercanlı Kireçtaşı)

Finike-Kumluca arasında ki bölgede ve Kaş-Kasaba yöresinde geniş bir alanda yayılım gösteren ve egemen olarak düzenli ve kalın katmanlı Erken Miyosen (Akıtanıyen) yaşlı resifal kireçtaşlarından oluşan karbonat kaya istifi, Poisson (1984) ve Şenel (1984)'in uygun görmesi ile Karabayır Formasyonu şeklinde tanımlanmıştır. Isparta'nın güneyinde ve Ağlasun çevresinde gözlenen benzer stratigrafik konuma sahip resifal özellikteki kireçtaşları Yağmurlu (1994) ve Altunsoy (1999) tarafından "Yazır Kireçtaşı" olarak adlandırılmıştır (Şekil 4).

Isparta güneyinde ve Ağlasun çevresinde başlıca grimsi ile koyu kahverengi arasında değişen, kalın düzenli katmanlı ve yaygın olarak mercanlı kireçtaşlarından oluşan birim, alttaki tüm yaşlı birimleri uyumsuz olarak üstler (Şekil 5).



Şekil 5. Karabayır Formasyonuna ait kalın katmanlı ve masif yapıli Akitaniyen yaşlı resifal kireçtaşlarının sahadaki görünümü.

Figure 5. Field view of the thick-layered and massive Aquitanian reefal limestones of the Karabayır Formation.

Karabayır Formasyonuna ait Akitaniyen yaşlı resifal kireçtaşları, Finike'nin kuzey bölgelerinde ve Kaş-Kasaba yöresinde geniş bir alan içinde yüzeyler ve bazı kesimlerdeki kalınlığı 300 metreye dek ulaşır.

Karabayır Formasyonunun ana bileşenini oluşturan resifal kireçtaşları, büyük bölümüyle bağlamtaşı ve istiftaşından yapılidir. Çoğunlukla mercan, bivalvia, alg ve gastropodlardan oluşan fosilleşmiş organik kavkı kalıntıları daha çok mikrospar kalsitten oluşan bir matriks içinde bulunur.

Karabayır Formasyonunu oluşturan Akitaniyen yaşlı resifal kireçtaşları, Isparta güneyinde ve Ağlasun çevresinde (Yazır kireçtaşı) Beydağları Formasyonuna ait Kretase yaşlı

kireçtaşları ile Antalya naplarına ait Triyas yaşlı pelajik tortulları transgressif olarak üstler. Elde edilen saha verileri, Isparta ve Ağlasun çevresinde en çok 50 metre kalınlık gösteren Karabayır Formasyonuna ait resifal kireçtaşlarının güneye doğru kalınlığının giderek arttığını ve Finike çevresinde 300 metreye ulaştığını gösterir. Bu durum, Akitaniyen döneminde Tetis okyanusunun kuzey bölümünde, güneye doğru tedrici olarak derinleşen, onlarca kilometre genişlikte bir şelf ortamının varlığını göstermesi bakımından önemlidir.

Karakuştepe Formasyonu (Burdigaliyen Türbiditik Tortullar)

Egemen olarak şeyl, kumtaşı ve kalkerli şeyl bileşenlerinden yapıli olan türbiditik özellikteki tortul istifi, bu çalışmada Karakuştepe Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Formasyon adı Poisson (1984) ile Şenel (1984) tarafından Kaş-Kasaba havzasında yer alan türbiditik tortullar için kullanılmıştır. Diğer taraftan Yağmurlu (1994), Isparta güneyinde benzer stratigrafi ve litoloji özellikleri gösteren tortulları Ağlasun Formasyonu olarak ayırt etmiş ve mikrofaua içeriği ve stratigrafi konumuna göre, bu birimi Burdigaliyen (Erken Miyosen) olarak yaşlandırmıştır.

Birime ait tipik görünüler Kaş-Kasaba yöresi ile Finike havzasının orta ve kuzey bölümlerinde ve Çıralı güneyinde yer alır (Şekil 4 ve 6). Karakuştepe Formasyonuna ait tortullar, alttaki Akitaniyen yaşlı denizel fasiyeste çökelmiş mercanlı kireçtaşlarını (Karabayır Formasyonu) uyumlu ve dereceli bir dokanakla üstler. Çıralı güneyinde, Antalya naplarına ait ofiyolitik oluşuklar, Karakuştepe Formasyonunu bindirmeli bir dokanakla üstler. Diğer taraftan, Finike havzasının kuzey bölgelerinde Karakuştepe Formasyonuna ait tortullar, Likya naplarına ait başlıca ofiyolit karmaşığında oluşan allokton birimler tarafından tektonik bir dokanakla üstlenir. Bindirmeli dokanaklara ilişkin açık görünüler,

Çıralı güneyinde ve Elmalı çevresinde açık olarak gözlenir.



Şekil 6. Karakuştepe Formasyonuna ait (Burdigaliyen yaşlı) kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşan türbiditik tortulların arazideki görünümü.

Figure 6. Field view of turbiditic sediments consisting of sandstone-shale alternation belonging to the Karakuştepe Formation (Burdigalian age).

Karakuştepe Formasyonuna ait tipik kesit lokasyonlarında birimin alttan üste doğru; (1) şeyl-çamurtaşı ardalanması ile (2) kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşan başlıca iki farklı litofasiye ayrılabilceği görülür.

Karakuştepe Formasyonunun alt bölümünde yer alan çamurtaşı ve şeyller, çoğunlukla orta ile koyu grimsi, yersel siyahımsı, ince-düzgün yarılmı ve yersel kömürleşmiş bitki kalıntılıdır. İnce taneli kumtaşı ve bitümlü şeyl arakatmanları şeyl kesiti içinde olağan olarak gözlenir. Büyük olasılıkla Nereites iknofasiyesinde olabilen Helminthoides sp.'ye ait izfosiller şeyl seviyeleri içinde olağan biçimde gözlenir. Isparta güneyinde Kışla Köyü yöresinde kalınlığı 200 metreye ulaşan şeyl-çamurtaşı fasiyesine ait tortullar Akitaniyen yaşlı Karabayır Formasyonuna ait mercanlı kireçtaşları üzerine uyumlu olarak gelir. Her iki birime ait dokanakta koyu grimsi ile kahverengi

arasında değişen karbonlu şeyl, çamurtaşı ve ince kumtaşından oluşan sedimanter bileşenler olağan biçimde yer alır.

Karakuştepe Formasyonun üst bölümünü oluşturan türbiditik tortullar egemen olarak kumtaşı-şeyl ardalanmasından ve bunlara eşlik eden çakıltası arakatıklarından oluşur. Bu birimin egemen bileşeni olan kumtaşları çoğunlukla yeşilimsi ile grimsi, orta ile kaba kırıntılı, düzenli katmanlı ve kötü boylanmalıdır. Çoğunlukla kireçtaşları ve ofiyolitlerden türemiş litik bileşenler içeren kumtaşları bileşim bakımından litarenit olarak tanımlanabilir. Dereceli tabakalanma, akıntı ve gereç izleri ile katmanların alt yüzeyinde yaygın olarak gözlenen yük kalıpları, kumtaşları içinde olağan olarak gözlenen tortul yapılarıdır.

PETROL JEOLJİSİ

Çıralı Doğal Gaz Emarelerinin Yeri ve Dağılımı

Çıralı doğalgaz sızıntılarının varlığı antik dönemlerden bu yana Chimaera ya da Yanartaş olarak yüzlerce yıldır bilinmektedir. Çıralı bölgesindeki doğalgaz sızıntıları, Antalya naplarına ait serpantinleşmiş Tekirova peridotit kütlelerinin batı kenarında bulunmaktadır. Bu yöredeki serpantinitler, Antalya naplarına ait ofiyolitik kayalar ile Tahtalıdağ kireçtaşlarının yanı sıra Paleojen - Neojen yaşlı otokton birimler üzerine bindirmektedir (Şekil 4, 7 ve 8). Doğal gaz emarelerinin bulunduğu alanda yer alan serpantinitler çoğunlukla soluk yeşilimsi, ileri derecede breşlenmiş ve makaslanmıştır. Bazı kesimlerde çok yaygın gelişmiş manyezit damarları serpantinitler içinde olağan olarak gözlenir. Yukarı da belirtildiği gibi, Çıralı yöresindeki doğal gaz sızıntıları Tekirova peridotit kütlelerinin sadece batı kesiminde Yanartaş olarak bilinen lokasyonda yer almaktadır. Tekirova peridotit kütlesi içinde başka bir yerde doğal gaz emaresine rastlanmamıştır.



Şekil 7. Antalya naplarına ait Tekirova peridotit napının bölgesel yayılımı ve Çıralı doğal gaz emaresinin (Chimaera-Yanartaş) Google Earth uydu görüntüsü üzerinde ki yeri. Kırmızı çizgi Tekirova peridotit napının güney sınırını göstermektedir.

Figure 7. Regional distribution of the Tekirova peridotite nappe belonging to the Antalya nappes and the location of the Çıralı natural gas seeps (Chimaera-Yanartaş) on a Google Earth satellite image. The red line shows the southern boundary of the Tekirova peridotite nappe



Şekil 8. Çıralı-Yanartaş yöresinde günümüzde halen yanan doğal gaz emareleri ve ileri derecede breşlenmiş serpantinitletlerin görünümü.

Figure 8. Seeps of natural gas still burning today in the Çıralı-Yanartaş region and the appearance of highly brecciated serpentinites.

Çıralı Doğal gaz emarelerinin kökeninin daha iyi anlaşılması için, yöredeki Paleojen - Neojen yaşlı kaya birimlerinin petrol jeolojisi açısından yapılan değerlendirmeleri aşağıda özetlenmiştir.

Ana Kaya Birimleri

Çıralı, Finike ve Kaş-Kasaba bölgelerinde geniş yayılım gösteren Paleojen - Neojen istifi içinde ana kaya özelliğine sahip olan organik maddece zengin birimleri ana çizgilerde üç farklı litostratigrafik birim içinde değerlendirmek mümkündür. Bunlar yaşlıdan gence doğru, (1) Eosen yaşlı türbiditik tortullardan oluşan Garipçe Formasyonu, (2) Akitaniyen yaşlı resifal kireçtaşlarından oluşan Karabayır Formasyonu ve (3) Erken Miyosen (Burdigaliyen) yaşlı türbiditik tortullardan oluşan Karakuştepe Formasyonu olarak sayılabilir.

Yukarıda da belirtildiği gibi, Paleojen - Neojen istifinin en alt ve en üst bölümünde yer alan türbiditik tortullar, egemen olarak şeylin egemen olduğu distal türbidititlerden meydana gelmektedir. Türbiditik istif içinde organik maddece zengin siyah şeyller olağan olarak bulunur (Şekil 9). Bunun yanı sıra, Finike havzası içindeki kalınlığı 300 metreye ulaşan Akitaniyen yaşlı resifal kireçtaşları, zengin fauna içeriği, gözenekli yapısı ve orta ile iyi sayılabilecek düzeyde organik madde içeriği nedeniyle (Altunsoy, 1999), hem ana kaya hem de hazne kaya özelliğine sahip bir birimdir.

Diğer taraftan, Finike havzası içinde Akitaniyen yaşlı mercanlı kireçtaşlarını uyumlu ve dereceli bir dokanakla üstleyen Burdigaliyen yaşlı türbiditik istifin (Karakuştepe Formasyonu) alt bölümünde organik maddece zengin karbonlu şeyllerin kalınlığı bazı kesimlerde 200 metreye dek ulaşır. Özçelik vd. (2009), Kasaba-Finike havzasında yer alan Karakuştepe Formasyonuna ait şeyllerin % 0,2 – 0,51 mertebesinde, Akitaniyen yaşlı resifal kireçtaşlarının ise % 3,47 mertebesinde toplam organik madde (TOC)

içeriğine sahip olduklarını belirtirler. Bu değerlere göre, bölgede geniş yayılım gösteren Erken Miyosen yaşlı birimlerin, hidrokarbon açısından, orta ile iyi derecede ana kaya özelliklerine sahip oldukları belirtmek mümkündür.



Şekil 9. Karakuştepe Formasyonuna ait Burdigaliyen yaşlı organik maddece zengin şeyllerin sahadaki görünümü.

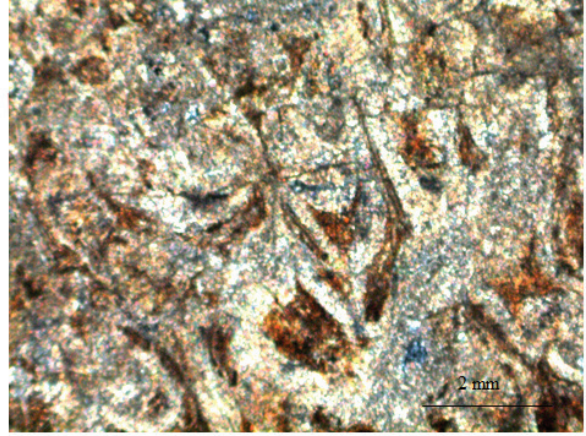
Figure 9. Field view of the Burdigalian organic matter-rich shales belonging to the Karakuştepe Formation.

Hazne Kaya Birimleri

Finike havzasında geniş yayılım gösteren Akitaniyen yaşlı resifal kireçtaşları (Karabayır Formasyonu), ana kaya özelliğinin yanı sıra, Paleojen - Neojen istifi içinde yer alan en önemli hazne kaya birimini oluşturur. Alttan Eosen yaşlı türbiditik tortulların yanı sıra, üstten Burdigaliyen yaşlı türbiditik şeyller tarafından üstlenen Karabayır Formasyonuna ait resifal kireçtaşları, bölgede hidrokarbon birikimi için son derece elverişli bir stratigrafik kapan özelliğine sahip bir birimdir.

Diğer taraftan, yapılan mikroskopik incelemeler, resifal kireçtaşına ait örneklerin % 25-30 mertebesinde oldukça yüksek sayılabilecek gözenekliliğe sahip olduklarını göstermektedir (Şekil 10). Organik kavrı ve iskeletleri arasında

yer alan çatı gözenekliliğinin yanı sıra, tane içi, tane arası, kovuk (vuggy) ve çatlak gözenekliliği bu kireçtaşları içinde en sık rastlanan gözenek türleridir. Gözeneklerin büyük bölümü birbiri ile bağlantılı olup, yersel olarak hidrokarbon kalıntıları ile doldurulmuş olarak gözlenir.



Şekil 10. Karabayır Formasyonuna ait Akitaniyen yaşlı resifal kireçtaşlarının mikroskopik görünümü ve gözenekli yapısı.

Figure 10. Microscopic view and porous structure of Aquitanian reefal limestones belonging to the Karabayır Formation.

ÇIRALI GAZ EMARELERİNİN KÖKENİ

Çıralı kuzeyinde Yanartaş yöresinde (Chimaera) yer alan doğal gaz emareleri, Tekirova Peridotit napının batısında yer alan çok katlı bir ters fay zonu üzerinde yer almaktadır. Tekirova peridotitleri Yanartaş yöresinde Tahtalıdağ kireçtaşları ile Antalya naplarına ait ofiyolitik kayaları bindirmeli bir dokanakla üzerler. Doğal gaz çıkışlarının yer aldığı bu çok katlı ters fay zonu boyunca peridotitler ileri derecede ezilmiş ve breşlenmişlerdir (Şekil 8). Çıralı doğal gaz emarelerinden alınan gaz örneklerinin TPAO Arge Merkezinde 2020 yılında yapılan jeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 1’de sunulmuştur. Buna göre Çıralı gazı büyük bölümü ile metan (%83),

ve daha az oranda hidrojen (%4,8) ile azot ve oksijen bileşenlerinden yapıldır.

Çizelge 1. Çıralı Doğal Gaz sızıntısını oluşturan bileşenlere ait jeokimyasal analiz sonuçları (TPAO Arge Merkezi, 2020).

Table 1. Geochemical analysis results for the Çıralı natural gas seep (TPAO R&D Center, 2020).

	Kimyasal Bileşenler	Çıralı Gaz Sızıntısı
(% Mol)	Hidrojen (H ₂)	4,851
	Argon/Oksijen (Ar/O ₂)	1,822
	Azot (N ₂)	9,607
	Karbondioksit (CO ₂)	0,000
	Metan (CH ₄)	83,165
	Etan (C ₂ H ₆)	0,291
	Propan (C ₃ H ₈)	0,098
	i-Bütan (i-C ₄ H ₁₀)	0,028
	n-Bütan (n-C ₄ H ₁₀)	0,057
	i-Pentan (i-C ₅ H ₁₂)	0,034
	n-Pentan (n-C ₅ H ₁₂)	0,032
	n-Hekzan(n-C ₆ H ₁₄)	0,016
Normalize Değerler (%)	Metan (CH ₄)	99,336
	Etan (C ₂ H ₆)	0,348
	Propan (C ₃ H ₈)	0,117
	i-Bütan (i-C ₄ H ₁₀)	0,033
	n-Bütan (n-C ₄ H ₁₀)	0,068
	i-Pentan (i-C ₅ H ₁₂)	0,041
	n-Pentan (n-C ₅ H ₁₂)	0,038
	n-Hekzan(n-C ₆ H ₁₄)	0,019

Bölgede araştırma yapan önceki araştırmaların bazıları Çıralı gaz sızıntılarının abiyotik kökenli olduğunu ve devam eden serpantinleşmenin yanı sıra, serpantinitle kireçtaşları arasındaki etkileşim sonucu meydana geldiğini önermişlerdir (Hoşgörmez, 2007; Hoşgörmez vd., 2008; Etioppe vd., 2011). Adı geçen yazarlar, serpantinleşme sonucu hidrojen gazının açığa çıktığını ve bu hidrojen gazının serpantinitle içinde bulunan kromit ve hematit gibi katalizörlerin etkisi altında kireçtaşlarından gelen CO₂ gazı ile birleşerek metan gazını oluşturduğunu belirtmişlerdir.

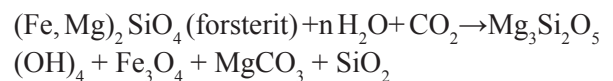
Aynı yazarlar, gaz kromatografisi analizlerine dayanarak, Çıralı bölgesinde Yanartaş (Chimaera) mevkiinde yüzeyleyen doğal gazın % 65 – 93 mertebesinde metan (CH₄), % 5 – 34 mertebesinde ise azot, hidrojen ve oksijen bileşenleri içerdiğini vurgulamışlardır.

Adı geçen yazarlar Tekirova peridotit napında serpantinleşmenin hala devam ettiğini ve buna bağlı olarak gelişen abiyotik metan gazının günümüzde de oluştuğunu ve Çıralı bölgesinde yüzeylettiğini belirtirler. Yazarlar, yörede forsterit ve fayalit bileşimli olivinlerin serpantinleştiğini ve bu serpantinleşme sonucu ortaya çıkan hidrojen gazının, kireçtaşlarından gelen CO₂ gazı ile birleşerek metan oluşturduğunu vurgulamışlardır.

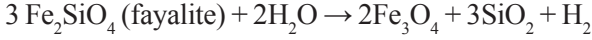
Konunun açıklığa kavuşturulması için serpantinleşme olayı ile ilgili bazı bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

Peridotitlerin temel yapısını oluşturan olivin mineralleri içinde, fayalit (Fe₂ SiO₄) ve forsterit (Mg₂SiO₄) en önemli mineral bileşenleridir. Serpantinleşme ana çizgilerde olivinlerin yapısına su ve CO₂ olarak serpantin mineraline dönüşmesi ve/veya ayrışmasıdır. Thayer (1965) ve Ramdohr, (1967), serpantinleşmenin egemen olarak okyanus ortası sırt bölgelerine yakın kesimlerde hidrotermal çözeltilerden kaynaklanan CO₂ ile okyanus suyunun etkisi altında geliştiğini belirtirler. Buna göre serpantinleşme olayının, büyük bölümü ile, peridotitlerin kıtasal kabuk üzerine yerleşimlerinden önce gerçekleştiği öngörülebilir.

Forsteritin (magnezyum bakımından zengin olivin) egemen olduğu peridotitlerin, yapısına H₂O ve CO₂ olarak, serpantinleşmesi sonucunda, serpantin (Mg₃Si₂O₅(OH)₄) mineralinin yanı sıra, Manyezit (MgCO₃), Magnetit (Fe₃O₄) ve Kuvars (SiO₂) oluşur. Bu konuyla ilgili tepkimeler aşağıda sunulmuştur (Thayer, 1965; Ramdohr, 1967).

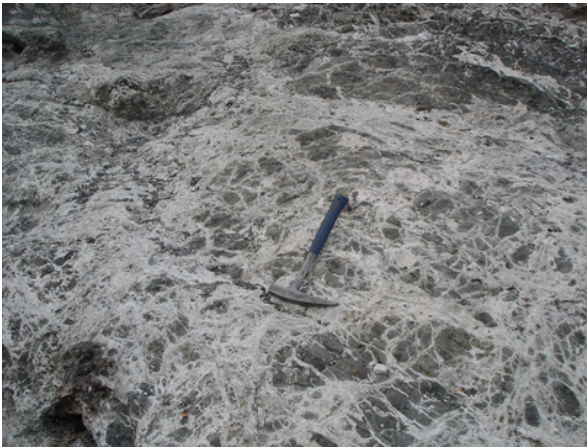


Diğer taraftan fayalitin serpantinleşmesi ile ilgili tepkime aşağıda verilmiştir. Buna göre bu tepkime sonucu demir oksit ve silikanın yanı sıra hidrojen oluşmaktadır.



Yukarıda verilen serpantinleşme ile ilgili eşitliklerde, magnezyumca zengin olivinlerin (forsterit) serpantinite dönüşümü söz konusu olduğunda, hidrojen ve buna bağlı metan oluşumu gerçekleşmemektedir. Bu eşitliğe göre yaygın olarak MgCO_3 (manyezit) açığa çıkmaktadır.

Çıralı yöresinde doğal gaz emarelerinin bulunduğu lokasyondan çekilen bir fotoğraf Şekil 11'de verilmiştir. Buna göre Çıralı yöresinde doğal gaz emarelerinin bulunduğu alanda serpantinitler içinde çok yaygın olarak ağsı şekilli manyezit damarlarının ve damarcıklarının olduğu gözlenir. Çıralı yöresinde serpantinitler içinde manyezit damarlarının böylesine yaygın olarak gelişimi, forsterit bileşimli olivinlerin serpantinleşmesi ile ilgili olmalıdır. Bu nedenle Çıralı yöresindeki doğal gaz emarelerinin serpantinleşme sonucu abiyotik olarak oluşması mümkün görülmemektedir.



Şekil 11. Çıralı-Yanartaş mevkiinde breşik serpantinitler içinde çok sık gelişmiş manyezit damarlarının arazideki görünümü.

Figure 11. Field view of magnesite veins that are very densely developed within brecciated serpentinites in Çıralı-Yanartaş.

Coveney vd. (1987), Kansas bölgesindeki serpantinitler içinde çok düşük oranda ticari değeri olmayan hidrojen gazının varlığının tespit edildiğini, ancak metan varlığına ise rastlanmadığını belirtmişlerdir.

Zwicker vd. (2018), izotop çalışmalarına dayanarak, Chimaera bölgesinde bakteriyel sülfat indirgemesinin aktif olabileceğini ve yöredeki metan oluşumuna katkıda bulunabileceğini belirtmişlerdir.

Hoşgörmez (2007), Hoşgörmez vd. (2008) ile Etioppe vd. (2011), Çıralı yöresinde serpantinleşmenin geliştiği ortamda katalizör görevi görecektir kromit ve magnetit gibi tepkime sıcaklığını düşürecek elementler bulunduğunu ve karbonat kayalar içindeki CO_2 ile birlikte kolaylıkla metan (CH_4) oluşumuna elverişli bir ortam sağlanmış olabileceğini belirtirler.

Tüm bunların yanı sıra, yörede serpantinleşmeye bağlı doğal gaz oluşumu söz konusu olması halinde 50 km² genişliğe ulaşan Tekirova serpantinit kütlelerinin başka yerlerinde de doğal gaz çıkışlarının olması beklenirdi. Ancak, yapılan saha çalışmaları sonucunda Tekirova serpantinit kütlesi üzerinde, Çıralı-Yanartaş doğal gaz emaresi dışında, başkaca bir emareye rastlanmamıştır. Bunun da ötesinde, GB-Anadolu'da Antalya napları, Likya napları ve Beyşehir-Hoyran napları içinde, Tekirova peridotit napına benzer konumda ve Tekirova'dan çok daha büyük boyutlarda olan çok sayıda peridotit napı mevcuttur. Bu peridotit naplarında kromit ve magnetit gibi, bir bölümü günümüzde işletilen, onlarca katalizör görevi görecektir mineral varlığı bulunmasına karşın, bunların hiçbirinde doğal gaz varlığına rastlanmaması, Çıralı doğal gaz emaresinin abiyotik olamayacağını gösteren en önemli verilerden birisidir.

Diğer taraftan, Hoşgörmez (2007) ile Hoşgörmez vd. (2008) ve Etiop vd. (2011), metan oluşumu için gerekli olan CO₂'in karbonat kayalardan gelebileceğini belirtmişlerdir. Buna karşın, karbonat kayaların normal atmosferik koşullarda CO₂ salınımı yapan bir kaya grubu olmadığı bilinmektedir. Karbonat kayaların (kireçtaşı ve dolomitler) bileşimindeki CO₂'in serbest hale gelebilmesi ve yapısının bozunması için en az 900 °C lik bir sıcaklığa ihtiyaç bulunmaktadır. Çıralı bölgesine ait saha verileri, Antalya napları ve kireçtaşları içinde böylesine genç bir volkanik-mağmatik etkinliğin ya da hidrotermal faaliyetin bulunmadığını göstermektedir. Kısacası, yazarların belirttiği gibi, normal koşullarda kireçtaşlarından CO₂'in serbest hale gelerek, serpantin içindeki ortama gelmesi ve hidrojen gazı ile birleşerek metan oluşturmaları mümkün görünmemektedir.

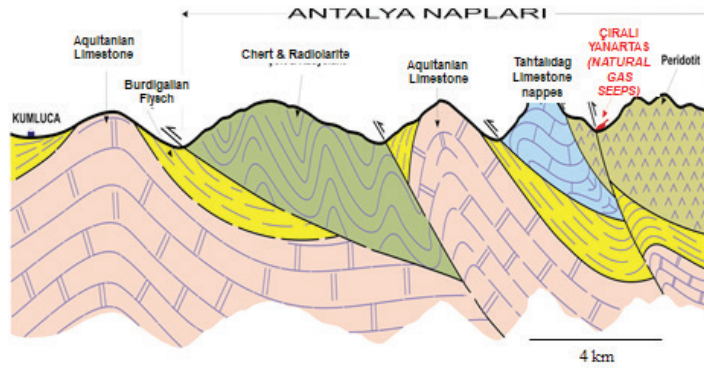
Bölgesel verilerin yanı sıra Çıralı yöresine ait saha verileri, bir bütün olarak değerlendirildiğinde, Çıralı doğal gaz emarelerinin tümüyle biyotik kökenli olduğunu ve çok büyük olasılıkla, Tekirova napına ait serpantinlerin altında bulunan Paleojen - Neojen (Akitaniyen ve Burdigaliyen) yaşlı birimlerden türemiş olabileceğini belirtmek mümkündür.

Çıralı bölgesinde alttaki Paleojen - Neojen tortullarını tektonik olarak üzerleyen Tekirova peridotit napı, büyük olasılıkla yörede allokon bir örtü kaya konumuna sahip bir birimdir. Bu nedenle, serpantinleşmiş peridotitler içinde yer alan doğal gazın kökeni için, serpantinlerin altında yer alan otokton konuma sahip Paleojen - Neojen tortullarının öngörülmesi daha uygun olacaktır. Diğer taraftan, bölgedeki Paleojen - Neojen tortullarının TOC analiz sonuçları (Altunsoy, 1999, Özçelik vd., 2009), bu bölgedeki doğal gaz emarelerinin çok büyük bir bölümü ile

Akitaniyen ve Burdigaliyen yaşlı ana kayalardan türeyebileceğini ve biyotik kökenli olabileceğini göstermesi bakımından önemlidir.

ÇIRALI GAZ EMARELERİNİN JEOLÖJİK KONUMU

Çıralı yöresinde Yanartaş Mevkiinde (Chimaera) yer alan doğal gaz emarelerinin jeolojik konumları Şekil 12'de verilen jeolojik enine kesit üzerinde açık olarak gösterilmiştir. Bu şekil üzerinde görüldüğü gibi, Tekirova peridotit kütlesi ve buna eşlik eden Tahtalıdağ birimine ait karbonat kayalar, çok katlı bindirmelere bağlı olarak alttaki otokton konumlu Paleojen - Neojen tortullarını tektonik olarak üzerler. Yöredeki çok katlı bindirmeler, altta bulunan Paleojen - Neojen yaşlı otokton birimlerin kıvrımlanmasına ve hidrokarbon birikimine elverişli kapanların oluşumuna yol açmış olmalıdır. Yöredeki doğal gaz emareleri, serpantinler içinde gelişen ve alttaki otokton konumlu Paleojen - Neojen yaşlı birimleri etkileyen, ters faylara bağlı olarak yüzeyleşmiş olmalıdır (Yağmurlu vd., 2019). Büyük olasılıkla, allokon konumlu serpantin örtüsü altında yer alan ve Paleojen - Neojen yaşlı birimlerden (Akitaniyen yaşlı mercanlı kireçtaşları) türeyen doğal gaz, yöredeki serpantinleri etkileyen bu ters fay boyunca yükselerek yüzeyleşmiştir. Diğer taraftan, Şekil 2 ve 4'te verilen bölgesel jeoloji haritaları üzerinde görüldüğü gibi, Beydağları yöresindeki otokton birimler ile Antalya naplarını birbirinden ayıran KKB- uzanımlı çok katlı bindirmeli dokanaklar ve bununla ilişkili tektonik yapıların Çıralının güney bölümünde deniz altında da devam etmesi ve buna bağlı olarak çamur volkanlarının ve gaz emarelerinin deniz tabanında da bulunması beklenmelidir.



Şekil 12. Çıralı yöresinde yer alan otokton ve allokton kaya birimlerinin jeolojik konumu ve yeraltı yapısı ile birlikte doğal gaz emarelerinin oluşum şeklini gösteren şematik jeolojik enine kesit.

Figure 12. Schematic geological cross-section showing the geological setting and underground structure of the autochthonous and allochthonous rock units in the Çıralı area, as well as the formation of natural gas seeps.

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Son yıllarda Doğu Akdeniz’de denizel fasiyeste çökelmiş Erken ve Orta Miyosen yaşlı tortullar içinde dev boyutta yeni doğal gaz rezervleri keşfedilmiştir. Bu keşiflerden sonra Akdeniz’i çevreleyen denizel Neojen havzalarının ve bu havzalarda yer alan Erken-Orta Miyosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı kayaların doğal gaz potansiyeli açısından önemi daha da artmıştır. Bu durum özellikle Anadolu’nun güneyinde ve GB-Anadolu bölgesinde yer alan Paleojen - Neojen havzalarının ve bu havzalar içinde yer alan Erken ve Orta Miyosen yaşlı karbonat kayaların ve kırıntılı tortulların doğal gaz potansiyeli açısından, ayrıntılı biçimde yeniden gözden geçirilmesini gerekli kılmıştır.

Antalya’nın yaklaşık 50 km güneybatısında yer alan Çıralı doğal gaz emaresi Doğu Akdeniz bölgesinin en önemli hidrokarbon emarelerinden biridir. Son yıllarda Doğu Akdeniz’de yapılan büyük gaz keşiflerinden sonra, Çıralı doğal gaz emaresinin jeolojik konumu ve kökenin ortaya çıkarılması büyük önem kazanmıştır.

Kasaba-Finike havzası içindeki kalınlığı 300 metreye ulaşan Akitaniyen yaşlı resifal kireçtaşları (Karabayır Formasyonu), zengin

fauna içeriği, gözenekli yapısı ve orta ile iyi sayılabilecek düzeyde organik madde içeriği nedeniyle, hidrokarbon açısından hem ana kaya hem de hazne kaya özelliğine sahip bir birimdir.

Kasaba-Finike havzası içinde mercanlı kireçtaşlarını uyumlu olarak üstleyen Burdigaliyen yaşlı Karakuştepe Formasyonun alt bölümünde yer alan organik maddece zengin karbonlu şeyller %0,2 – 0,51 mertebesinde, Akitaniyen yaşlı resifal kireçtaşları ise %3,47 mertebesinde toplam organik madde (TOC) içeriğine sahiptir. Buna değerlere göre, Finike havzasında geniş yayılım gösteren Erken Miyosen yaşlı birimlerin, hidrokarbon açısından, orta ile iyi derecede ana kaya özelliklerine sahip oldukları belirtmek mümkündür.

Antalya-Çıralı yöresinde yer alan ve binlerce yıldır yanan doğal gaz emareleri serpantinleşmiş Tekirova peridotit kütesinin batısında yüzeylemektedir. Tekirova peridotitleri (ve /veya serpantinitle) Kemer ile Çıralı arasında 10 km uzunluğa ve 5 km genişliğe sahip olan ve yaklaşık 50 km² genişliğe ulaşan dev büyüklükte bir allokton bir kütledir. Günümüzde tümüyle serpantinleşmiş olan Tekirova peridotit kütesi aynı zamanda bölgede Antalya naplarına ait

en önemli allokton kaya birimlerinden biridir. Antalya napları egemen olarak ofiyolitik bir matriks içinde gömülü olarak bulunan serpantinit, diyabaz, gabro, tabakalı çört, plakette kireçtaşı ve neritik kireçtaşı blokları ve/veya olistolitleri içeren ve karmaşık içyapı özelliğine sahip, melanj benzeri, bir kaya topluluğudur.

Yörenin jeolojik yapısı dikkatli bir biçimde incelendiğinde, Tekirova peridotitlerinin (ve/veya serpantinitlerinin) çoğu yerde Antalya naplarına ait kaya birimlerini (tabakalı çört, diyabaz ve plakette kireçtaşı) bindirmeli bir dokanakla üstledikleri gözlenir. Diğer taraftan, Tekirova peridotitleri (ve/veya serpantinitlerinin) Olimpos-Çıralı bölgesinde, Antalya napları içinde yer alan ve Tahtalıdağ naplarına ait neritik kireçtaşlarından oluşan karbonat kaya kütlelerinin yanı sıra, Burdigaliyen (Erken Miyosen) yaşlı türbiditik tortulların (Karakuştepe Formasyonu) üzerine bindirmiş olduğu gözlenir.

Tekirova naplarına ait serpantinleşmiş peridotitler içinde yer alan doğal gaz emareleri, büyük bölümüyle metan bileşimlidir. Yörede çalışan bazı araştırmacılar, serpantinleşmenin günümüzde karasal ortamda ve atmosferik koşullar altında halen devam ettiğini belirtirler. Aynı yazarlar, yörede serpantinleşme sonucu hidrojen gazının açığa çıktığını ve bu hidrojen gazının serpantinitler içinde bulunan kromit ve hematit gibi katalizörlerin etkisi altında kireçtaşlarından gelen CO₂ gazı ile birleşerek metan gazını oluşturduğunu belirtmişlerdir. Önceki araştırmacıların çoğu bu yöredeki doğal gaz oluşuklarının büyük bölümü ile abiyotik kökenli olduklarını ve serpantinitler ile çevreleyen karbonatlı kayaların etkileşimi sonucu oluştuklarını ileri sürmüşlerdir.

Ancak karbonat kayaların normal atmosferik koşullarda CO₂ salınımı yapan bir kaya grubu olmadığı bilinmektedir. Diğer taraftan bölgeye ait saha verileri, Antalya napları yanı sıra Tahtalıdağ ve Beydağ kireçtaşlarını etkileyen genç bir volkanik-mağmatik etkinliğin ya da hidrotermal faaliyetin

bölgede bulunmadığını göstermektedir. Kısacası, normal atmosferik koşullarda kireçtaşlarından CO₂'in serbest hale gelerek, serpantinit içindeki ortama gelmesi ve hidrojen gazı ile birleşerek metan oluşturmaları mümkün görünmemektedir.

Buna karşın, GB-Anadolu'nun değişik yörelerinde Antalya, Likya ve Beyşehir-Hoyran napları içinde, kireçtaşları ile dokanak halinde olabilen, birçok serpantinitleşmiş peridotit napı yer almaktadır. Bunun yanı sıra, bu serpantinleşmiş peridotit napları içinde, Tekirova napına benzer şekilde, katalizör olabilecek onlarca kromit, magnetit ve hematit zuhurları bulunmaktadır. Ancak bu napların hiçbirinde bu tür doğal gaz emarelerine rastlanmamıştır. Bu nedenle, Çıralı yöresindeki doğal gaz emareler için, abiyotik köken yerine, biyotik bir köken kaynağı aramak daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Diğer taraftan, Çıralı bölgesinin jeolojik yapısı ayrıntılı biçimde incelendiğinde, bu bölgede doğal gaz emarelerini içinde bulunduran Tekirova peridotit naplarının altta bulunan organik maddece zengin sayılabilecek Paleojen - Neojen yaşlı birimler üzerine bindirmeli bir dokanakla geldiği gözlenir. Bu nedenle, Çıralı bölgesinde peridotitler içinde bulunan ve büyük olasılıkla biyotik kökenli olan doğal gaz emarelerinin kaynağı için, serpantinleşmiş peridotitlerin altında bulunan organik maddece zengin Paleojen - Neojen yaşlı (Eosen-Erken Miyosen) birimlerin dikkate alınması daha doğru olacaktır.

EXTENDED SUMMARY

In recent years, large new natural gas reserves have been discovered in Early and Middle Miocene sedimentary sequences deposited in marine facies in the Eastern Mediterranean. After these discoveries, the importance of the marine Paleogene-Neogen basins surrounding the Eastern Mediterranean and the Early-Middle Miocene clastic and carbonate rocks in these basins has increased even more in terms of

natural gas potential. This situation necessitated a detailed review of the Paleogene-Neogene basins, especially in the south of Anatolia and the SW-Anatolia region, and the Early and Middle Miocene carbonate rocks and clastic sediments within these basins, in terms of natural gas potential.

Most of the giant new hydrocarbon resources discovered after 2005, mostly in the southern region of Cyprus, are located within the Paleogene-Neogene sedimentary sequence filling the Cyprus-Levantine basin. The Cyprus-Levantine basin is located south of the Antalya-Troodos-Amanos ophiolite belt. For this reason, the geological locations of the Kasaba-Finike basin, which corresponds to the western extension of the Levantine basin, and the Çıralı natural gas evidence of natural gas from Çıralı in this region, have great importance in terms of the natural gas potential of the region.

It is possible to categorize the Paleogene-Neogen sediments in SW Anatolia into two different facies: terrestrial and marine. Although terrestrial sediments are mostly common in the northern parts of the Isparta Angle, sediments deposited in marine facies mostly fill the basins located south of the Isparta Angle. Marine Paleogene-Neogene basins located south of the Isparta Angle, were defined from west to east as the Kasaba-Finike, Aksu and Manavgat basins. These basins are mostly filled with clastic and carbonate sediments ranging in age from Early Miocene to Pliocene, accompanied by Messinian evaporites.

The Aquitanian reefal limestones (Karabayır Formation), with a thickness of up to 300 meters in the Kasaba-Finike basin, has the characteristics of both a host rock and a reservoir rock in terms of hydrocarbons, due to rich faunal content, porous structure and moderate to good organic matter content.

The organic matter-rich carbonaceous shales located in the lower part of the Burdigalian

Karakuştepe Formation, which conformably overlies the coral limestones in the Kasaba-Finike basin, have a total organic matter (TOC) content of 0.2 - 0.51%, while the Aquitanian reef limestones have a total organic matter (TOC) content of 3.47%. According to these values, it is possible that the Early Miocene units, which are widely distributed in the Finike basin, have moderate to good source rock characteristics in terms of hydrocarbons.

Located approximately 50 km southwest of Antalya, the Çıralı natural gas seep is one of the most important hydrocarbon seeps in the Eastern Mediterranean region. Natural gas seeps in the Çıralı-Yanartaş area are located on the western edge of the serpentinitized Tekirova peridotite mass belonging to the Antalya nappes. The serpentinites in this region overlie the ophiolitic rocks of the Antalya nappes, Tahtalıdağ limestones and Paleogene-Neogene autochthonous units with a thrust contact. Serpentinites in the area where natural gas seeps are found are mostly pale greenish, highly brecciated and sheared. In some areas, very widespread magnesite veins are normally observed within serpentinites. Apart from the location known as Yanartaş, no seeps of natural gas have been found anywhere else within the Tekirova peridotite mass.

The results of geochemical analysis performed at TPAO R&D Center for gas samples taken from the Çıralı natural gas seeps are presented in Table 1. Accordingly, Çıralı gas consists mostly of methane (83%), and to a lesser extent hydrogen (4.8%), nitrogen (9.6%) and oxygen (1.8%).

Some previous studies investigating the formation of Çıralı gas have argued that Çıralı gas seeps have abiogenic origin and occur as a result of the interaction between serpentinites and limestones (Hoşgörmez, 2006; Hoşgörmez et al., 2005, 2008; Etioppe et al., 2011). According to these authors, the serpentinitization process in the Tekirova peridotite nappe continues today under

atmospheric conditions and the resulting abiotic methane gas surfaces in the Çıralı region. These authors stated that hydrogen gas was released as a result of serpentinization in the Çıralı region, and that this hydrogen gas combined with CO₂ gas coming from the limestones forms methane gas under the influence of catalysts such as chromite and hematite in the serpentinites.

However, it is known that carbonate rocks are not a rock group that releases CO₂ under normal atmospheric conditions. Field data from the region show that there is no young volcanic-magmatic formation or hydrothermal activity in the region affecting the Tahtalıdağ and Beydağ limestones as well as the Antalya nappes. In short, as stated by the authors, it does not seem possible for CO₂ to be released from limestones under normal atmospheric conditions, to enter into the environment within the serpentinite, and to combine with hydrogen gas to form methane.

There are many serpentinitized peridotite nappes, which may be in contact with limestones, within the Antalya, Lycia and Beyşehir-Hoyran nappes in various regions of SW-Anatolia. In addition, there are dozens of chromite, magnetite and hematite occurrences that may be catalysts within these serpentinitized peridotite nappes, similar to the Tekirova nappe. However, no similar seeps of natural gas have been found in any of these nappes. Therefore, it would be a more accurate approach to look for a biotic form and source for natural gas formation in the Çıralı region, rather than an abiotic form. When the geological map of the Çıralı area and its immediate surroundings is examined in detail, the Tekirova peridotite nappe in this region has a thrust contact with the underlying Paleogene-Neogene units (Karakuş and Karabayır Formations). Therefore, it would be a better option to consider the organic matter-rich Paleogene-Neogene (Aquitian and Burdigalian) units beneath the serpentinitized peridotites as the source of gas seeps found within peridotites in the Çıralı area, which most likely have biotic origin.

KATKI BELİRTME

Çıralı doğal gaz numuneleri sahadan TPAO elemanları tarafından derlenmiştir. Alınan gaz örneklerinin jeokimyasal analizleri 2020 yılında TPAO Arge Merkezinde yapılmıştır. Çıralı doğal gazına ait analiz sonuçlarını benimle paylaşma imkânı sağlayan TPAO yetkililerine teşekkür ederim.

ORCID

Fuzuli Yağmurlu  <https://orcid.org/0000-0002-0638-0265>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Aksu, A. E., Calon, T. J. & Hall, J. (2005). The Cilicia-Adana basin complex, Eastern Mediterranean: Neo gene evolution of an active fore-arc basin in an obliquely convergent margin. *Marine Geology*, 221, 121-159.
- Aksu, A. E., Hall, J. & Yaltırak, C. (2009). Miocene-Recent evolution of Anaximander Mountains and Finike Basin at the junction of Hellenic and Cyprus Arcs, eastern Mediterranean. *Marine Geology*, 258, 24-47. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.04.008>
- Altunsoy, M. (1999). Isparta güneyinde yer alan Miyosen yaşlı Yazır Kireçtaşlarının organik jeokimyasal özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 42(2), 51-62. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/429429bflf2af05_ek.pdf
- Atabey, E., Atabey, N., Hakyemez, A., Islamoğlu, Y., Sözeri, Ş., Özçelik, N., Saraç, G., Ünay, E. ve Babayiğit, S. (2000). Mut – Karaman arası Miyosen havzasının litostratigrafisi ve sedimentolojisi (Orta Toroslar). *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 122, 53-72.
- Boulton, S. J. & Robertson, A. H. F. (2007). The Miocene of the Hatay area, S Turkey: Transition from the Arabian passive margin to an underfilled foreland basin related to closure of the Southern Neotethys Ocean. *Sedimentary Geology*, 198, 93-124.
- Coveney, R. M. Jr., Goebel, E. D., Zeller, E. J., Dreschhoff, G. A. M. & Angino, E. E. (1987).

- Serpentinization and the origin of hydrogen gas in Kansas. *AAPG Bulletin*, 7(1), 39-48. <https://doi.org/10.1306/94886D3F-1704-11D7-8645000102C1865D>
- Dilek, Y. & Rowland, J. (1993). Evolution of conjugate passive margin pairs in Mesozoic southern Turkey. *Tectonics*, 12, 954-970.
- Eatons, S. & Robertson, A.H.F. (1993). The miocene Pakhna Formation, southern Cyprus and its relationship to the neogene tectonic evolution of the eastern mediterranean. *Sedimentary Geology*, 86, 273-296.
- Etiope, G., Schoell, M. & Hoşgörmöz, H. (2011). Abiotic methane flux from the Chimaera seep and Tekirova ophiolites (Turkey): Understanding gas exhalations from low serpentinization and implications for Mars. *Earth and Planetary Science Letters*, 310, (1-2), 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.08.001>
- Flecker, R., Poisson A. & Robertson, A. H. F. (2005). Facies and palaeogeographic evidence for the Miocene evolution of the Isparta Angle in its regional eastern Mediterranean context. *Sedimentary Geology*, 173, 277-314.
- Gedik, A., Birgili, Ş., Yılmaz, H. ve Yoldaş, R. (1979). Mut-Ermenek-Silifke yöresinin jeolojisi ve petrol olanakları. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 22(1), 7-26. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/76768aa37f2616b_ek.pdf
- Glover, C. & Robertson, A. H. F. (1998). Neogene intersection of the Aegean and Cyprus arcs: extensional and strike-slip faulting in the Isparta Angle, SW Turkey. *Tectonophysics*, 298, 103-132.
- Görür, N. (1973). Karaisalı Kireçtaşını (Miyosen) Sedimentolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 22(2), 227-232. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/55632e7cf364a75_ek.pdf
- Hakyemez, A. & Toker V. (2010). Planktonic foraminiferal biostratigraphy from the sedimentary cover of Troodos Massif, Northern Cyprus: Remarks on Aquitanian-Langhian biozonation. *Stratigraphy*, 7, 33-59.
- Hall, J., Aksu, A.E. & Calon, T.J. (2005a). Varying tectonic control on basin development at an active microplate margin: Latakia Basin, Eastern Mediterranean. *Marine Geology*, 221, 15-60.
- Hall, J., Calon, T. J. & Aksu, A. E. (2005b). Structural evolution of the Latakia Ridge and Cyprus Basin at the front of the Cyprus Arc, Eastern Mediterranean Sea. *Marine Geology*, 221, 261-297.
- Hayward, A. (1982). Türkiye'nin Güneybatısındaki Bey Dağları ve Susuz Dağ Masiflerinde Miyosen yaşlı kırıntılı tortulların stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 25(2), 81 – 89. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/5aa1bb87e877aef_ek.pdf
- Hoşgörmöz, H. (2007). Origin of the natural gas seep of Çıralı (Chimaera), Turkey: Site of the first Olympic fire. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 131-141.
- Hoşgörmöz, H., Etiope, G. & Yalçın, N. (2008). New evidence for a mixed inorganic and organic origin the olympic Chimaera fire (Turkey): a large onshore seepage of abiogenic gas. *Geofluids*, 8, 263-273. <https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2008.00226.x>
- İslamoğlu, Y. ve Taner, G. (2002). Kasaba Miyosen havzasında Uçarsu ve Kasaba formasyonlarının mollusk faunası ve stratigrafisi (Batı Toroslar, GB Türkiye). *MTA Dergisi*, 125, 31-57
- İslamoğlu, Y. (2002). Antalya Miyosen havzasının mollusk faunası ile stratigrafisi (Batı- Orta Toroslar, GB Türkiye). *MTA Dergisi*, 123-124, 27-58
- İsler, F. I., Aksu, A. E., Hall, J., Calon, T. J. & Yaşar, D. (2005). Neogene development of the Antalya Basin, Eastern Mediterranean: An active forearc basin adjacent to an arc junction. *Marine Geology*, 221, 299-330
- Kissel, C., Averbuch, O., Lamotte, D., Monod, O. & Allerton, S. (1993). First paleomagnetic evidence for a post-Eocene clockwise rotation of the western thrust belt east of the Isparta reentrance (SW Turkey). *Earth and Planetary Science Letters*, 117(1-2), 1-14.
- Korkmaz, S. ve Gedik, A. (1990). Mut - Ermenek - Silifke (Konya - Mersin) havzasında ana kaya fasiyesi ve petrol oluşumunun organik jeokimyasal yöntemlerle incelenmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 33(1), 29-38. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/007714e6118ca12_ek.pdf
- Koşun, E., Poisson, A., Ciner, A., Wernli, R. & Monod, O. (2009). Syn-tectonic sedimentary evolution of the Miocene Catallar Basin, southwestern Turkey.

- Journal of Asian Earth Sciences*, 34(3), 466-479. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2008.07.005>
- Özçelik, O., Altunsoy, M. & Acar, F. (2009). Organic geochemical characteristics of the Miocene Lycian Basin, western Taurides, Turkey. *International Geology Review*, 51(1), 77-93. <https://doi.org/10.1080/00206810802614614>
- Özdoğan, M. (2004). Çevrimsel dizilime bir örnek: Mut havzasının Miyosen stratigrafisi, Adana havzası ile ilişkisi ve paleocoğrafik gelişimi. *Yerbilimleri*, 29, 77-95.
- Payne, A. S. & Robertson, A. H. F. (1995). Neogene supra-subduction zone extension in the Polis Graben system, West Cyprus. *Journal of the Geological Society*, 152, 613-628.
- Poisson, A. (1984). The extension of the Ionian trough into southwestern Turkey. In Dixon, J. E. & Robertson, A.H.F. (Eds.), *The geological evolution of the Eastern Mediterranean*. *Geol. Soc. London Spec. Publ.* 17, 241- 250.
- Poisson, A., Yağmurlu, F., Bozcu, M. & Şentürk, M. (2003). New insights on the tectonic setting and evolution around the apex of the Isparta Angle (SW-Turkey). *Geological Journal*, 38, 257-282. <https://doi.org/10.1002/gj.955>
- Ramdohr, P., 1967. A widespread mineral association connected with serpentization. *Nenes Jahrbuch für Mineralogie*, 107, 241-265.
- Robertson, A. H. F. (1998). Tectonic evolution of Cyprus in its eastern most Mediterranean setting. *Third International Conference On The Geology Of the Eastern Mediterranean. Proceedings*, 11-44.
- Robertson, A. H. F., Eatons, S. & Follows, E. J. (1995). Depositional processes and basin analysis of Messinian evaporites in Cyprus. *Terra Nova*, 7, 233-253
- Robertson, A., Unlugenc, O. C. & Inan, N. (2004). The Misis-Andirin complex: a Mid-Tertiary melange related to late-stage subduction of the southern Neotethys in S Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 22, 413-453
- Şenel, M. (1984). Discussion of the Antalya nappes. In Tekeli, O. & Göncüoğlu M. C. (Eds.), *Geology of Taurus belt. Proceedings*, 41-51
- Thayer, T. P. (1965). Serpentinization considered as constant-volume metasomatic process. *American Mineralogist*, 51, 685-710.
- Uslu, M. (2014). *Kumluca (Antalya) kuzeyinde yer alan ofiyolit topluluğunun jeolojik konumu ve ekonomik potansiyeli* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. S. Demirel Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Veen, J. H., Woodside, J. M. & Zitter, T. A. C. (2004). Neotectonic evolution of the Anaximander Mountains at the junction of the Hellenic and Cyprus arcs. *Tectonophysics*, 391, 35-65
- Yağmurlu, F. (1994). Isparta güneyinde yer alan Paleojen-Neojen yaşlı türbiditik birimlerin fasiyes özellikleri. *Geosound-Yerbilimleri Dergisi*, 24, 17-28.
- Yağmurlu, F., Poisson, A., Bozcu, A. ve Şentürk, M. (2007). Isparta Açısının tektonostratigrafik özellikleri ve petrol jeolojisi açısından irdelenmesi. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği (TPJD) Bülteni*, 19, 23-34.
- Yağmurlu, F., Tagliasacchi, E. & Şentürk, M. (2019). The Significant Hydrocarbon Seepages in the Eastern Mediterranean Region: Çıralı (Chimera) Natural Gas Potential, Kemer-Antalya, SW-Turkey. In Günday, A., Pehlivan E. & Minaz, M. R. (Eds.), *Engineering Research Papers*, 45-63.
- Yılmaz, P. O. (1981). *Geology of the Antalya complex, SW Turkey* [Ph. D. Thesis]. University of Texas at Austin.
- Zwicker, J., Birgel, D., Bach, W., Richoz, S., Smrzka, D., Grasemann, B., Gier, S., Schleper C., Rittmann, S.K. – M.R., Koşun, E. & Peckmann J. (2018). Evidence for archaeal methanogenesis within veins at the onshore serpentinite-hosted Chimaera seeps, Turkey. *Chemical Geology*, 483, 567-580. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.03.027>