

Efemçukuru Altın Yatağının Bulunduğu Seferihisar Yükselimi'nin (İzmir) Petrol ve Doğalgaz Potansiyelinin Suda Toplam Petrol Hidrokarbonları (TPH) Analizi ve Gravite-Manyetik Verilerle İncelenmesi

Adil ÖZDEMİR^{1*} , Atilla KARATAŞ² , Yıldırım PALABIYIK³  Alperen ŞAHİNOĞLU⁴ 

¹Adil Özdemir Mühendislik ve Danışmanlık, Ankara, Türkiye.

ORCID ID 0000-0002-3975-2846

²Marmara Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul, Türkiye.

ORCID ID 0000-0001-9159-6804

³İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye. ORCID ID 0000-0002-6452-2858

⁴İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İstanbul, Türkiye. ORCID ID 0000-0002-1930-6574

*adilozdemir2000@yahoo.com

Özet

Literatürde, hidrokarbon birikimleri ve altın cevherleşmeleri arasındaki bağlantılar incelenmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, altın ve hidrokarbonların aynı hidrotermal akışkanlar tarafından taşındığı ve çöktüğü tespit edilmiştir. Seferihisar Yükselimi'nde, Türkiye'nin kanıtlanmış en büyük altın cevheri rezervine sahip Efemçukuru Altın İşletmesi bulunmaktadır. Bu nedenle, Seferihisar Yükselimi'nin petrol ve doğalgaz potansiyelinin soğuksu kaynaklarından alınan örnekler üzerinde Toplam Petrol Hidrokarbonları (TPH) analizleri yapılarak araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, su numunelerinin tamamında hidrokarbonlar tespit edilmiştir. Sularda tespit edilen hidrokarbonların kaynağının belirlenmesi için organik jeokimyasal yöntemler kullanılmıştır. Su numunelerinde belirlenen n-alkan hidrokarbonlar, olgun petrol hidrokarbonlarıdır. Bu olgun petrol hidrokarbonları, çalışma alanında çalışan bir petrol sisteminin varlığı için jeokimyasal bir kanıttır. Dolayısıyla, gravite ve manyetik verilere göre çalışma alanında belirlenen maksimum 765 m derinliğindeki yapının bir petrol ve/veya doğalgaz rezervuarı olma potansiyeli oldukça yüksek olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: rezervuar hedefli petrol ve doğalgaz arama, suda TPH analizi, hidrokarbonca zengin su, Bornova Filiş Zonu, altın yatağı

Investigation of Oil and Gas Potential of the Seferihisar High (İzmir) Containing Efemçukuru Gold Deposit by Using Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) in Water Analysis and Gravity-Magnetic Data

Abstract

In literature, the links between hydrocarbon accumulations and gold mineralizations have been examined. According to the results obtained from these studies, it has been reported that gold and hydrocarbons are carried and deposited by the same hydrothermal fluids. In the Seferihisar High, the Efemçukuru Gold Operation possesses the largest proven gold reserves of Turkey. For this reason, in this study, it is aimed to investigate the oil and gas potential of the Seferihisar High by conducting Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) analyses on the samples taken from the natural cold-water resources. As a result of the analyses conducted, hydrocarbons have been detected in all the water samples. Organic geochemical methods have been used to determine the source of hydrocarbons detected in the water resources. The n-alkane hydrocarbons found in the water samples are the mature petroleum hydrocarbons, which are the geochemical evidence for a working petroleum system in the study area. Therefore, the main structure in a maximum of 765 m depth determined in the study area according to gravity and magnetic data has a significant hydrocarbon potential to become an oil and/or gas reservoir.

Keywords: reservoir-targeted oil and gas exploration, TPH in water analysis, hydrocarbon-rich water, Bornova Flysch Zone, gold deposit

1. GİRİŞ

Sedimanter havzalar, hem fosil enerji kaynakları hem de birçok metalik maden yatağı için değerli depolama alanları içermektedir. Özdemir ve Palabıyık [1,2], işletilebilir boyutta yatak oluşturabilmiş altın yataklarının petrol ve doğalgaz birikimleri için sığ ve güvenilir bir belirteç olduğunu belirtmiştir. Özdemir ve Palabıyık [1,2], yüzeyde kaynak kaya mostrası, petrol veya doğalgaz sızıntısı, petrol veya doğalgaz sahası gibi hiçbir hidrokarbon emaresi bulunmayan, fakat işletilebilir boyutta bir altın yatağının bulunduğu havzalarda ve bölgelerde, suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizinin uygun maliyetli ve güvenilir bir petrol ve doğalgaz arama yöntemi olarak kullanılabilmesine işaret etmektedirler. Bunun yanı sıra, önerilen bu yeni tekniğin (rezervuar hedefli), klasik organik jeokimyasal yöntemlerle (kaynak kaya hedefli) başarı oranı %10-20 dolayında olan (yüksek riskli) petrol ve doğalgaz aramalarının, risk ve maliyetlerini oldukça düşürerek keşif başarı oranını artıracağına düşünüldüğü belirtilmiştir.

Daha önce yapılan çok sayıda çalışmada, altın cevherleşmeleri ile hidrokarbon rezervuarları arasında yakın ilişkiler kurulmuştur [1-44]. Aynı sedimanter havzadaki altın yatakları ile hidrokarbon rezervuarlarının, aynı sedimanter havzada oluşan altın ve hidrokarbonların aynı akışkan tarafından havzaya birlikte taşınması ve biriktirilmesi sonucunda oluştuğu gösterilmiştir [1,2, 35, 45]. Gu ve diğ. [35], hem altın yatakları hem de petrol sahaları içeren Youjiang Havzası'ndaki (Güney Çin) petrol rezervuarları ve sedimanter yankayaçlı altın cevherleşmeleri arasındaki bağlantıları incelemiştir. Çalışmanın sonuçları, Youjiang Havzası'ndaki altın yataklarının ve hidrokarbon rezervuarlarının, altın ve hidrokarbon taşıyan bazik (alkalin) bir akışkan tarafından birlikte taşınması ve biriktirilmesi sonucunda oluştuğunu göstermektedir. Bahsi geçen çalışmada bir rift havzasında, derin su, organik madde ve altınca zengin çamurtaşı, silttaşı ve mikrit, hem altın yatakları hem de paleo-petrol rezervuarları için kaynak olarak kullanılmıştır. Altın ve hidrokarbonlar, diyajenez sırasında gözeneklerden ayrılmış ve akışkanlarla birlikte taşınmıştır. Topoğrafik yükselme ve havzanın sıkışması sonucunda sıklaşan sedimanlardan türeyen bu altın ve hidrokarbon içeren akışkanlar, akiferler boyunca yatay olarak göç etmiş ve altın cevherleşmesi ile hidrokarbon birikiminin farklı çökeltme ve kapanlanma mekanizmaları ile gerçekleştiği ana ve alt havzadaki faylar boyunca havzanın kenarlarına ve paleo-yükselime dikey olarak yönelmiş ve altın yatakları ve petrol rezervuarlarını oluşturmuştur. Altın; faylar, kırık bölgeleri ve uyumsuzluk yüzeylerinde cevherli akışkanların uygun jeokimyasal bariyerlerle karşılaştığı alanlarda çökmüştür. Hidrokarbonlar ise, stratigrafik, litolojik ve yapısal kapanlarda birikmiştir. Farklı çökeltme ve kapanlanma mekanizmaları nedeniyle, altın cevherleşmeleri ve hidrokarbon rezervuarlarının çökeltme ve birikme alanları bir dereceye kadar konumsal olarak farklıdır. Yanshanian orojenezi, Youjiang Havzası'nın yükselmesine ve kıvrımlanmasına, havzadaki hidrokarbon

rezervuarlarının bir kısmının yüzeylenmesine ve tahribatına, yaygın olarak ta yüzeyde bitüme dönüşmesine sebep olmuştur [35]. Altın cevherleşmesi ve cevher yan kayacındaki organik madde (hidrokarbon kaynağı) ortak bir kaynağa sahiptir [23].

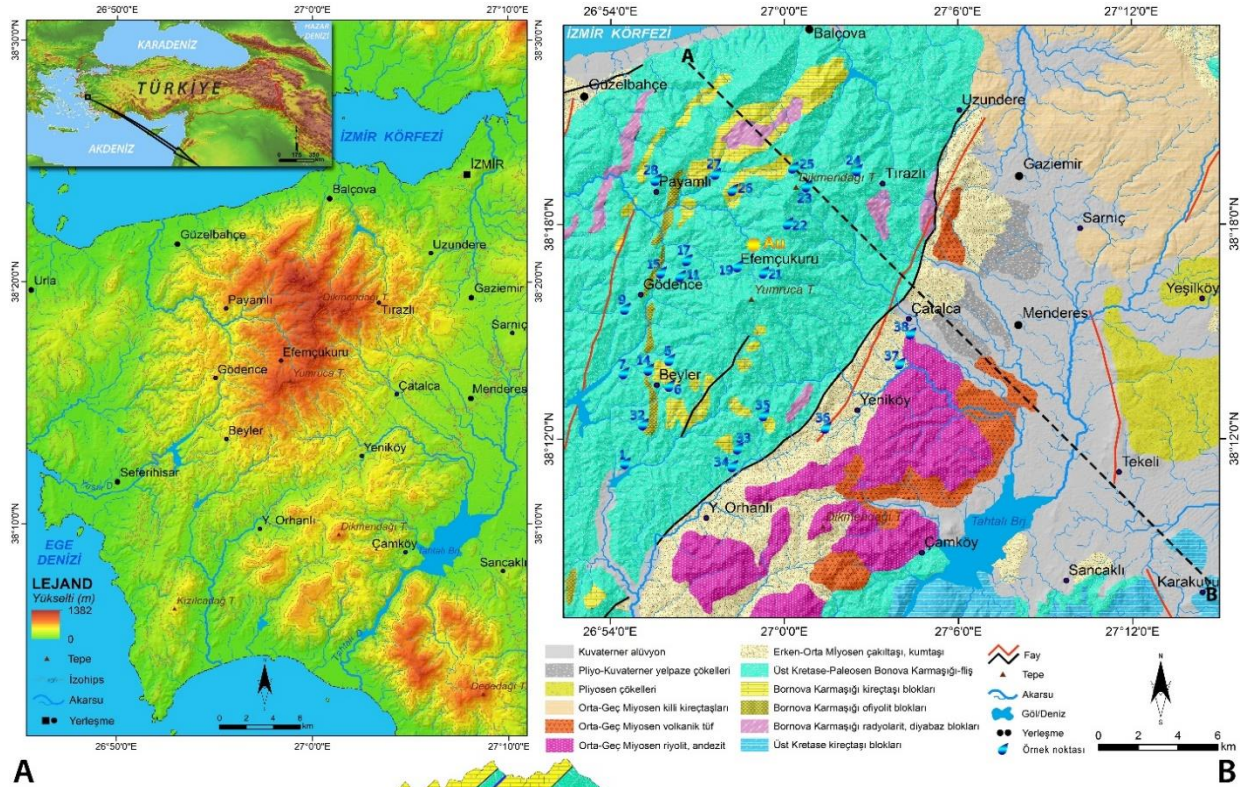
Seferihisar Yükselimi'nde, Türkiye'nin kanıtlanmış en büyük altın cevheri rezervine sahip altın işletmelerinden birisi olan Efemçukuru altın işletmesi bulunmaktadır (Şekil 1). Efemçukuru cevherleşmesi, stok ve ornatma ile birlikte damar tipi epitermal altın cevherleşmesine tipik bir örnektir. Damarlar, Neojen volkanizmasının riyolitleri tarafından istila edilmiş olan İzmir-Ankara yöresi kayaçları olan Geç Kretase-Paleojen fliş fasiyesinde bulunmaktadır. Bölgedeki altın cevherleşmesi, magmatik hidrotermal aktivite ile ilişkilidir. Cevherleşme; KB-GD yönlü faylar tarafından kontrol edilmekte olup, kuzeydoğu yönünde 60-80° atımlarda oluşmuştur [46]. Saha, 2011 yılında işletilmeye başlanmış olup, çıkarılacak toplam cevher yapılan rezerv çalışmalarına göre yaklaşık 8.5 milyon tondur. Cevherin ortalama tenörü, altın (Au) için ortalama 7.31 gr/ton olarak belirlenmiştir [47]. Dolayısıyla, bu çalışmada önemli miktarda altın cevheri rezervine sahip olan Seferihisar Yükselimi'nin petrol ve doğalgaz potansiyelinin bölgedeki bazı doğal su kaynaklarından alınan numuneler üzerinde yapılan Toplam Petrol Hidrokarbonları (TPH) analizleri ile araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, su numunelerinin tamamında olgun petrol hidrokarbonları tespit edilmiştir. Tespit edilen olgun hidrokarbonlar, çalışma alanındaki petrol sistemi için bir kanıt olarak değerlendirilmiştir.

2. JEOLJİK YAPI

Çalışma alanı olan Batı Anadolu, Ege Denizi ve çevresindeki bölgeleri kapsayan Ege genişleme alanının doğu kısmında yer almaktadır (Şekil 1). Bölge, kompleks bir horst-graben sistemidir. D-B uzantılı graben, drenaj ağını kontrol etmektedir [48] ve birçok önemli jeotermal alana ev sahipliği yapmaktadır. Güçlü graben tektoniğinin bir sonucu olarak tüm bölge, temelden alüvyona kadar tüm stratigrafik kolonu kesen, düşey doğrultu atımlı ve aktif normal faylar tarafından etkilenmektedir. Bu durum, tüm kaya birimleri arasındaki hidrolojik temas yüzeylerini kolaylaştırmaktadır. Filiş sekansındaki kırık sistemleri, hidrotermal bir sistem oluşturmuştur [49]. Çalışma alanı, Üst Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Menderes metamorfikleri, Üst Kretase-Paleosen yaşlı İzmir-Ankara Zonu kayaçları, Neojen yaşlı tortul kayaçlar ve volkanitler ile Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozlarının içinde bulunduğu bir alan içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı ve çevresinin jeolojisi, birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır [48,50,51]. Araştırmacılara göre bölgede, Paleozoyik-Mezozoyik Menderes metamorfikleri, Kretase-Paleosen Filiş (Bornova Karmaşığı) (>2000 m), Miyosen Yeniköy formasyonu (800 - 1500 m), Pliyosen Cumaovası volkanikleri (300-500 m), Kuvaterner yamaç molozu ve alüvyondan oluşmaktadır. Menderes Masifi olarak da tanımlanan şist ve mermerlerden oluşan Paleozoyik yaşlı metamorfikler temel kayayı oluşturmaktadır [48]. Metamorfiklere, Seferihisar Horstu'nda yaklaşık 2500 m derinlikte girildiği tahmin edilmektedir. Buna karşılık, Seferihisar Yükselimi'nin güneyindeki Doğanbey Bölgesi'nde sismik hatlar metamorfik kayaçların yükseldiğini ve 500 metreden daha az derinlikte olduğunu göstermektedir [52].

Üst Kretase - Paleosen yaşlı birimler, Balçova tepelerinden Seferihisar sahillerine kadar yayılım gösterirler (Şekil 1). İzmir-Ankara Zonu kayaçları başta kumtaşı-şeyl ardalanması olmak üzere çeşitli kireçtaşları, mafik ve ultramafik kayaçlar, masif kumtaşları, serpantinit, spilit, diyabaz ve kireçtaşlarından oluşmaktadır [53,54]. Filiş, kumtaşı, silttaşı ve şeyller baskın olmak üzere fillitler, sleytler, rekristalize kireçtaşları ve metamorfizmaya uğramış çeşitli bloklar, spilit-diyabaz, radyolarit ve serpantinit gibi ofiyolitler ile riyolit ve granodiyorit vb. gibi magmatik birimlerden oluşmaktadır [48]. Bornova Karmaşığı, deforme olmuş ve yer yer metamorfizma geçirmiş kireçtaşları, metakumtaşları, serpantinitler ve spilitik lavlardan oluşmaktadır. Filiş içerisindeki 20 km'yi bulan kireçtaşı kütleleri, Kampaniyen-Daniyen'de filişin oluşumu sırasında havza içine taşınarak filişin içerisindeki kireçtaşı blokları olarak yerini almıştır. İzmir-Ankara Zonu'nun Bornova ile Seferihisar arasındaki bölümünü kapsayan ve Üst Kretase-Paleosen yaşlı olan Bornova Filiş Zonu, Menderes Masifi kayalarının üzerinde doğrultu atımlı faylar boyunca yer almaktadır. Filiş biriminin tabanına rastlanamamıştır [53,54]. Balçova'da yapılmış en derin jeotermal sondaj olan 1100

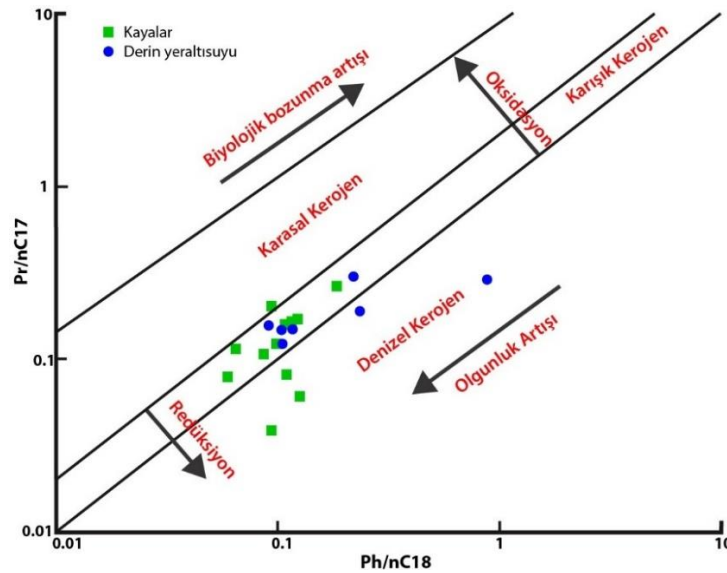
metrelik kuyuda dahi, filiş altındaki metamorfik temele ulaşamamıştır. Balçova ve Seferihisar'da MTA tarafından yapılan sondajlarda, filiş biriminin güneye doğru kalınlığının azaldığı ve 300 metreye kadar düştüğü bilinmektedir. Birimin kalınlığı birçok yerde yapılmış sondajların kuyu loglarına göre, Ürkmez'de birkaç yüz metre iken, Balçova'da 2 km'den fazladır. Seferihisar Yükselimi'nde, birim kalınlığının 1500 metre civarında olduğu tahmin edilmektedir [55]. Bornova Filiş Zonu'nun yarı-geçirimli ve bölgedeki esas jeotermal rezervuar olduğu belirtilmiştir [56-58]. Bornova Filiş Zonu'nun geçirimsizliği, genelde ikincil olup, faylar, kırıklar, metakumtaşlarının ardanlanması ve volkanik sokulundan kaynaklanmaktadır [59]. Birim, çalışma alanı çevresindeki Neojen ve Kuvaterner birimler tarafından örtülmektedir.



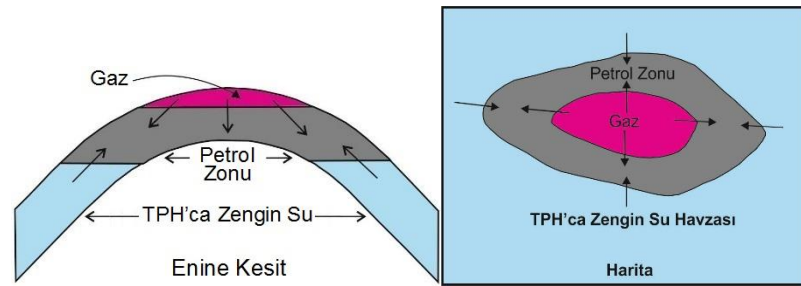
Şekil 1. Çalışma alanının jeoloji haritası ([60]'dan).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Eymold ve diğ. [61], kaya gazı içeren havza formasyonları üzerindeki sıg yeraltısularının hidrokarbonlarca zengin olduğunu belirlemişlerdir. Hidrokarbonlarca zengin bu sulardaki hidrokarbonların, derindeki kaynak kayalardan sıg akiferlere göç ettiğini belirtmişlerdir. Kreuzer ve diğ. [62], petrolü havzalardaki fayların, jeolojik zaman boyunca hidrokarbonlarca zengin suların kaynak kayalar üzerindeki akifer litolojilerine taşınmasını kolaylaştırdığını ve sıg yeraltısularının jeokimyasını etkileyerek bu sulara hidrokarbon zenginleşmesine sebep olduğunu belirtmişlerdir. Dultsev ve Chernykh [63], yeraltındaki hidrokarbon birikimleri etrafındaki hidrokarbonca zengin suların petrol ve doğalgaz aramak için çok iyi bir jeokimyasal araç olduğunu belirtmişlerdir. Günümüzde, kaynak kayaların mostra vermediği (yüzeyde görülmediği) örtülü veya kaynak kayaların tüketilmiş olduğu havzalarda/bölgelerde hidrokarbonlarca zengin suların ve organik jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesine imkan sağlayan suda TPH analizi petrol ve doğalgaz aramacılığında kullanılmaya başlanmıştır [64-70]. Çünkü, güncel çalışmalarda kaynak kaya ve gaz numuneleri üzerinde yapılan tüm organik jeokimyasal analizlerin, suda TPH analizi ile belirlenen petrol hidrokarbonlarınca zengin yüzey ve yeraltı suları üzerinde de uygulanabildiği, aynı havzalarda/bölgelerde aynı analiz ve yorumlama sonuçlarına ulaşıldığı belirlenmiştir (Şekil 2) [71,72]. Bu çalışmalara göre, bir bölgede bir petrol ve/veya doğalgaz rezervuarının var olması durumunda, çalışma alanındaki yeraltısularının olgun petrol hidrokarbonlarınca zengin olması gereklidir (Şekil 3). Dolayısıyla, suda TPH analizi rezervuar hedefli petrol ve doğalgaz arama aktivitesine hizmet edecektir.



Şekil 2. Aynı araştıma bölgesinden alınan kaynak kaya ve derin yeraltısuyu numunelerinin Pr/n-C17-Ph/n-C18 diyagramı [72] (Pr: Pristan ve Ph: Fitan izoprenoid hidrokarbonlar, n-C17 ve n-C18: n-alkanlar).



Şekil 3. Birincil yöntemlerle üretim yapılan antiklinal bir petrol rezervuarının bileşenleri [71].

TPH değeri, yeraltısularının hidrokarbon kirliliği hakkında bilgi vermektedir. Sudaki TPH konsantrasyonlarını belirlemek için gaz kromatografisi (GC) analizleri yapılmaktadır. Suda TPH tayininde, TS EN ISO 9377-2, 2000 sayılı *Hidrokarbonların Tayini - Bölüm 2: Çözücü Ekstraksiyonu ve Gaz Kromatografi Yöntemi* standart testi kullanılmaktadır (diğer yöntemler, EPA Metot 1664 ve ASTM D7678-11). Bu analiz yönteminde yerüstü, yeraltı ve dağıtım sularından alınan örneklerdeki hidrokarbonlar ayrılmakta ve su numunesindeki toplam petrol hidrokarbonlarının miktarı tayin edilmektedir. Numunelerde buharlaşma veya biyodegradasyon gibi hidrokarbon miktarını etkileyebilecek olayları önlemek için bu numuneler asitlenerek saklanmaktadır. Numuneler, eğer asitleme işlemi yapılmışsa 14 gün, yapılmamışsa 7 gün içerisinde analiz edilmekte ve analiz öncesinde $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}$ sıcaklık aralığında muhafaza edilmektedir.

Çalışma kapsamında, bölgedeki doğal soğuksu çeşmelerinden 1 lt ölçekli plastik kaplarla 25 adet soğuk su numunesi alınmıştır (Şekil 1 ve 4). Su örnekleri, şebeke suyu ile ilişkili olmayan ve arıtılmamış/işlem görmemiş su kaynaklarından alınmıştır. Su örnekleri, standart prosedürlere (ISO 5667-3) göre toplanmış ve muhafaza edilmiştir. Çalışma alanından toplanan numunelerin, toplandıktan birkaç gün sonra analizinin yapılması nedeniyle, numunelerde asitleme işlemi yapılmamıştır. Numuneler, laboratuarda standart yöntemler (ISO 9377-2) kullanılarak sudaki TPH açısından analiz edilmiştir. Alınan su numunelerinde, organik jeokimyasal değerlendirmelere veri oluşturmak amacıyla gaz kromatografi cihazı ile TPH analizleri yapılmıştır. Bu analizler ile su numunelerinin doğrudan TPH konsantrasyonları (mg/lt cinsinden) belirlenmiş ve gaz kromatogramlarından jeokimyasal parametreler hesaplanmıştır. Jeokimyasal değerlendirmelerde, TPH konsantrasyonları ve hesaplanan parametreler kullanılmıştır.



Şekil 4. Çalışma alanındaki doğal soğuksu kaynaklarından ölçekli plastik kaplarla su numunesi alınmasından bir görünüm.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma alanından alınan su numuneleri üzerinde yapılan TPH analiz sonuçları esas alınarak; sulardaki hidrokarbonların miktarı, bozunma durumu ve kaynağı, uygunluğu ve çökeltme ortamının redoks koşulları jeokimyasal açıdan incelenmiştir. Ayrıca, inceleme alanı için hazırlanan havadan manyetik ve gravite haritaları jeolojik ve tektonik açıdan yorumlanmış ve hidrokarbonların kavramsal oluşum, göç ve birikme modelinin kurgulanması amaçlanmıştır.

4.1 Sulardaki Hidrokarbonların Miktarı, Bozunma Durumu ve Kaynağı

Liu ve diğ. [72], hidrokarbon içeriği 0.05 mg/l'tyi aşan yeraltısuyunu orijinal hidrokarbonca zengin yeraltısuyu olarak tanımlamıştır. Yüze ve yeraltı suları için önerilen TPH sınır değerleri Tablo 1'de verilmiştir. TPH değerleri, Tablo 1'deki değerleri aşan yüze ve yeraltı suları, hidrokarbonca zengin sulardır. İnceleme alanındaki su numunelerinin tamamında n-alkan hidrokarbonlar tespit edilmiştir. Su numunelerinin TPH değerlerinin, yüze ve yeraltısularında bulunması gereken hidrokarbon sınır değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 1 ve 2). Dolayısıyla, su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi, inceleme alanındaki sulara hidrokarbon zenginleşmesine sebep olmuştur.

Kaynak, olgunlaşma, göç ve biyolojik bozunma, hidrokarbonların bileşimindeki farklılıklardan sorumlu ana faktörlerdir. Ph/n-C18 değeri < 1 ise, biyolojik olarak bozunmamış hidrokarbonları göstermektedir [73]. Su numunelerinin tümünün Ph/n-C18 değeri, < 1'dir (Tablo 2). Bu değerlere göre, su numunelerindeki hidrokarbonlar biyolojik olarak bozunmamıştır.

Hidrokarbon bileşiklerinin genel dağılımlarını görmek, organik madde tipi, olgunlaşma ve çökme ortamları hakkında bilgi sağlamak amacıyla gaz kromatografi analiz sonuçları kullanılarak Pr/Ph oranı, izoprenoid/n-alkan oranı ve Karbon Tercih İndeksi (CPI) hesaplanarak yorumlamaya gidilmektedir. Bu çalışmada, n-alkan dağılımlarından yararlanılarak su numuneleri Pr/Ph oranı, CPI indeksi, Pr/Ph - CPI, Pr/n-C17-Ph/n-C18 ve Pr/n-C17-Pr/Ph diyagramlarında jeokimyasal açıdan yorumlanmıştır.

Tablo 1. Yüze ve yeraltısuları için önerilen TPH sınır değerleri.

TPH (mg/l)	Referans
< 0.05	[71]
< 0.1	[74]
< 0.5	[70]
< 0.2	[75]
< 0.02	[76]

CPI, n-alkan kaynağının bir göstergesidir. Tek ve çift karbon numaralı n-alkan miktarları arasındaki bir oran olan CPI, gaz kromatogramlarındaki piklerin yükseklikleri veya alanları ölçülerek belirlenmektedir. Bu kromatogramlarda hâkim pikler, n-alkanlardır. CPI indeksinin hesaplanmasında, farklı araştırmacılar farklı formüller önermişlerdir. Bu indeks, karbon dizisinin herhangi bir aralığına uygulanabilmektedir. CPI, tek ve çift numaralı n-alkanların birbirlerine göre bolluğu, organik madde tipi, çökme ortamı ve ısıl olgunluğu yorumlamada kullanılmaktadır. CPI değerinin belirgin bir şekilde > 1 (tek n-alkan tercihli) veya < 1 (çift n-alkan tercihli) olması ısıl ortamlarla ilişkili petrol ve bitümlerde gözlenmektedir [77,78]. Yüksek CPI değeri, yüksek karasal bitkilerden türemiş, olgunlaşmamış veya olgunluğu düşük organik maddeyi yansıtmaktadır [79]. CPI değerlerine göre (Tablo 2), incelenen su numunelerindeki n-alkanların kaynağı petrojenik hidrokarbonlar ve organik maddece zengin yaşlı sedimanlardır (Tablo 3).

Petrojenik kaynaklar terimi, ham petrol, kömür vb. gibi yanmamış fosil kaynakları tanımlamaktadır. Bu kaynaklar, milyonlarca yıl önce ve orta sıcaklıklarda (100-300 °C arasında) çok yavaş bir şekilde oluşmuştur [80]. Ortamdaki hidrokarbonların kaynağını (doğal veya petrol n-alkan) değerlendirmek için NAR (Doğal n-alkan Oranı) olarak tanımlanan bir parametre önerilmiştir [81]. Bu oran, petrol hidrokarbonları ve ham petrol için sıfır veya sıfıra çok yakındır. Diğer kaynaklar için ise, daha yüksek olarak belirtilmiştir. NAR parametresine göre (Tablo 2), incelenen su numunelerindeki n-alkanlar, petrojenik hidrokarbonlardır.

4.2 Sulardaki Hidrokarbonların Olgunluğu ve Çökeltme Ortamının Redoks Koşulları

Olgun hidrokarbonların CPI değeri, 1'dir veya 1'e yakındır [81]. Çok tuzlu karbonat veya evaporitik ortamlarla ilişkili petrol ve bitümlerin CPI değerleri, 1'den küçüktür [77,78]. Onojake ve diğ. [83] çalışmalarında, CPI değerlerini esas alarak hidrokarbonları olgunluklarına göre sınıflandırmışlardır (Tablo 4). Bu sınıflamaya göre, incelenen su numunelerindeki (Tablo 2) hidrokarbonlar olgundur (fazla okside veya redükte).

Tablo 2. Su numunelerinin TPH analiz sonuçları ve hesaplanan jeokimyasal parametreler.

Numune No	Su kaynağı	Koordinatlar		TPH (mg/lt)	CPI	NAR	Pr/Ph	Pr/n-C17	Ph/n-C18
		X	Y						
1	Doğal soğuksu	4226530	491680	0.59	1.03	0.32	1.43	0.08	0.03
5	Doğal soğuksu	4231706	493898	< 0.40	0.84	0.40	0.53	0.02	0.07
6	Doğal soğuksu	4231152	493727	0.52	1.50	0.26	3.83	0.08	0.04
7	Doğal soğuksu	4231153	491612	0.55	1.19	0.30	3.71	0.06	0.03
9	Doğal soğuksu	4234482	491688	0.53	1.17	0.30	0.25	0.01	0.07
11	Doğal soğuksu	4235990	493949	0.79	1.55	0.26	1.68	0.02	0.03
14	Doğal soğuksu	4231337	493022	< 0.40	1.08	0.30	3.73	0.11	0.07
15	Doğal soğuksu	4236299	493512	0.50	1.11	0.29	1.56	0.04	0.06
17	Doğal soğuksu	4237099	494776	0.53	1.29	0.32	0.36	0.01	0.08
19	Doğal soğuksu	4236666	497594	0.62	1.55	0.29	1.99	0.08	0.11
21	Doğal soğuksu	4236543	498736	< 0.40	-	-	-	-	-
22	Keson kuyu	4238885	499805	0.49	1.56	0.27	2.73	0.10	0.11
23	Doğal soğuksu	4241197	501068	0.59	-	0.21	0.56	0.02	0.09
24	Doğal soğuksu	4241660	503544	0.44	1.35	0.14	0.04	0.00	0.06
25	Keson kuyu	4241752	500169	0.68	1.27	0.31	6.12	0.21	0.08
26	Doğal soğuksu	4240550	497158	< 0.40	-	0.06	1.38	0.04	0.08
27	Doğal soğuksu	4241444	496236	0.52	-	0.31	0.75	0.04	0.12
28	Doğal soğuksu	4241107	493370	0.49	-	0.31	0.62	0.04	0.17
32	Keson kuyu	4228440	492582	0.48	-	0.22	2.43	0.04	0.05
33	Doğal soğuksu	4227266	497300	0.55	-	0.29	1.96	0.04	0.06
34	Doğal soğuksu	4226280	497226	0.45	-	-	0.45	0.03	0.16
35	Doğal soğuksu	4228961	498662	0.42	-	-	0.20	0.04	0.37
36	Doğal soğuksu	4228160	501945	< 0.40	-	-	0.19	0.04	0.36
37	Doğal soğuksu	4231737	505712	0.53	-	-	0.21	0.03	0.36
38	Doğal soğuksu	4233155	506246	0.46	-	0.10	0.57	0.06	0.25

$CPI = \frac{[(C23+C25+C27) + (C25+C27+C29)]}{[2 * (C24+C26+C28)]}$ [84,85], $NAR = \frac{[\sum n-alk (C_{19-32}) - 2\sum \text{Çift } n-alk (C_{20-32})]}{\sum n-alk (C_{19-32})}$ [81], - : hesaplanamadı

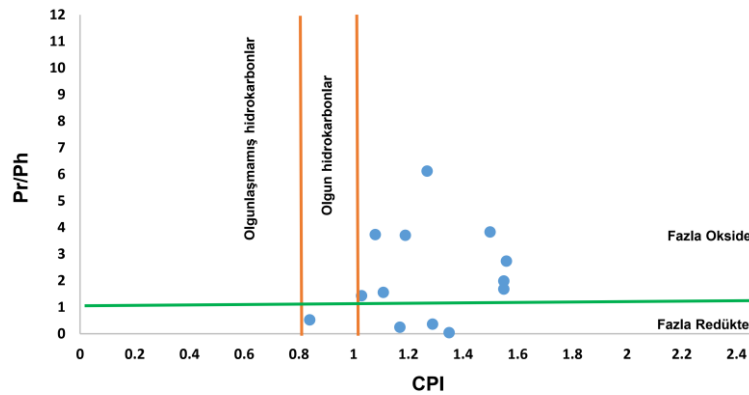
Tablo 3. CPI değerine göre sudaki n-alkanların kaynağı [71].

CPI	Kaynak
> 2.3	Güncel karasal sedimanlar (biyojenik hidrokarbonlar)
1.2 - 2.3	Organik maddece zengin yaşlı sedimanlar (denizel şeyller, karbonatlar vb.)
≤ 1.2	Petrojenik hidrokarbonlar (< 1 değerler bozunmuş hidrokarbonlar)

Tablo 4. CPI değerine göre hidrokarbonların olgunluk derecesi ([83]'den düzenlenmiştir) (bkz. Şekil 5).

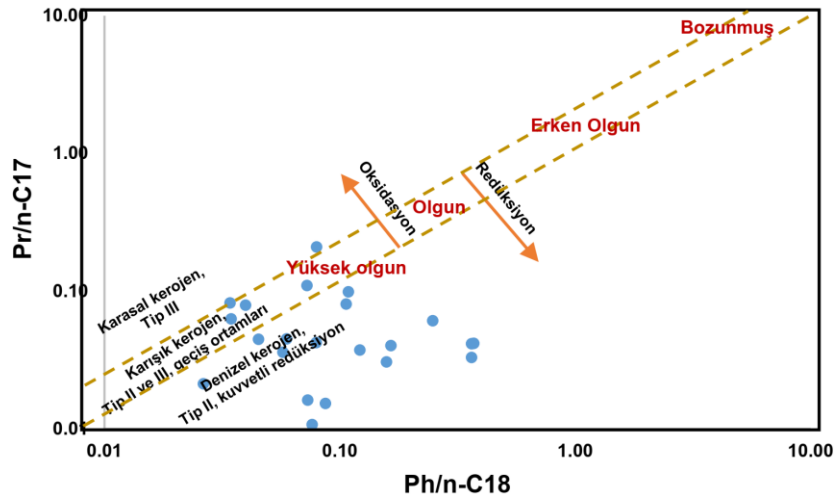
CPI	Olgunluk
> 1	Olgun (fazla okside-redükte)
0.8 - 1	Olgun
< 0.8	Olgunlaşmamış

İzoprenoid/n-alkan oranlarında, gaz kromatogramlarındaki izoprenoidlere en yakın n-alkanlar kullanılmaktadır. Pr/Ph oranı, iyi bir korelasyon parametresidir. Pristan (Pr) ve fitan (Ph), özellikle fototropik organizmalardaki klorofilin yan zinciri olan fitilden türemektedir. Anoksik koşullar altında fitil yan zinciri koparak fitolü ve fitolde indirgenerek fitanı oluştururken, oksik koşullar altında ise fitol pristana indirgenmektedir [78]. Dolayısıyla, Pr/Ph oranı, çökeltme ortamının redoks potansiyelini yansıtmaktadır. Pr/Ph < 1 ise anoksik, Pr/Ph > 1 ise oksik çökeltme ortamını işaret etmektedir. Yüksek Pr/Ph oranları, oksik bir paleoortamda birikmiş, önemli bir karasal katkı olan kaynak kayadan türeyen hidrokarbonları gösterir [73,86]. İncelenen su numuneleri, 0.04 - 6.12 arasında değişen Pr/Ph oranına sahiptir. Dolayısıyla, incelenen su numunelerinin yaklaşık yarısı anoksik (Pr/Ph < 1), diğer yarısı da oksik ortamda (Pr/Ph > 1) çökelmiş sedimanlardan türemiş hidrokarbonları içermektedir (Tablo 2). Pr/Ph oranı, olgunluk hakkında da bilgi sağlamaktadır [87]. Pr/Ph-CPI diyagramında, incelenen su numunelerindeki hidrokarbonların çoğunluğunun fazla okside bir kısmının da fazla redükte alanda yer aldığı ve benzer olgunluk seviyelerinde olduğu görülmektedir (Şekil 5).

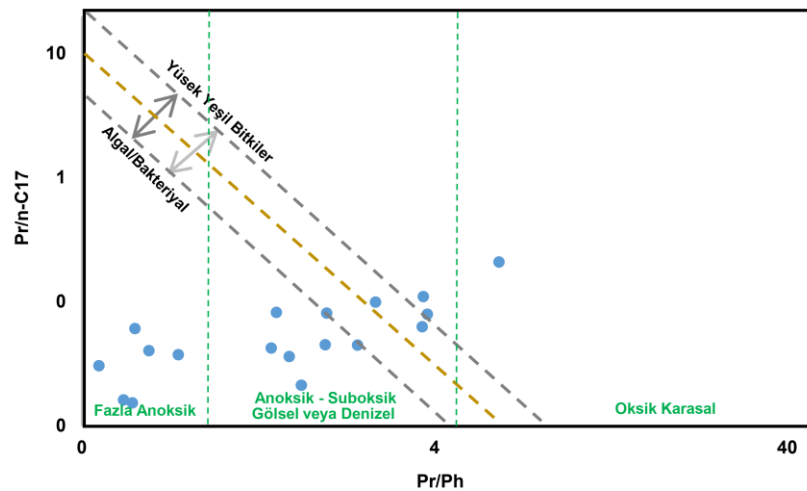


Şekil 5. Su numunelerinin Pr/Ph - CPI diyagramı (diyagram: [83]'den).

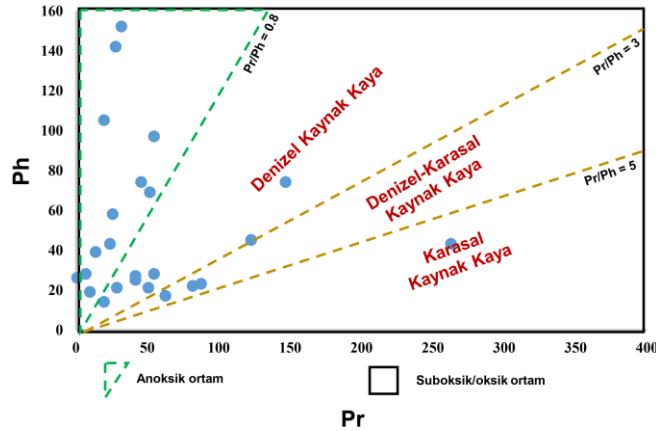
Pr/n-C17 ve Ph/n-C18 oranları, hidrokarbon korelasyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek pristan (Pr) içeren numuneler oksitleyici, yüksek fitan (Ph) içeriği ise redükleyici bir kaynağı yansıtmaktadır. Dolayısıyla, petrol veya bitümleri sınıflandırmak için Pr/nC17'nin Ph/nC18'e karşı çizildiği diyagramlar kullanılmaktadır [73]. Pr/Ph oranının 1.5 üzerinde olması, standart jeokimyasal yorumlamaya göre oksijenli bir ortamdaki çökeltme koşullarına işaret etmekle birlikte, Pr/Ph oranlarının anoksik çökeltme ortamları için 1'in üzerinde olabileceği de iyi bilinmektedir. Daha düşük değerler, aynı sekansın diğer bölümlerine kıyasla daha az oksik koşulları gösterebilir [88]. İzoprenoid/n-alkan oranı, kırılma ile kerojenden daha çok n-alkan serbest kaldığı için olgunluğun artması ile azalmakta olup [73,77] biyolojik bozunmaya uğramamış petrol ve bitüm örnekleri için olgunluğun bir ölçütü olarak kullanılmaktadır. Bu oran, n-alkanların daha kolay yok olmasından dolayı biyolojik bozunma ile artmakta [73], organik madde girdisi ve ikincil işlevler tarafından da etkilenmektedir. İncelenen su numunelerinin Pr/n-C17 - Ph/n-C18 ve Pr/n-C17 - Pr/Ph diyagramlarındaki konumlarına göre, hidrokarbonları türeten kaynak kayaların yüksek anoksik-suboksik denizel (Tip-II kerojen) ve anoksik-suboksik geçiş ortamda (Tip II-III kerojen) çöktüğü ve hidrokarbonların olgun-yüksek olgun seviyede oldukları görülmektedir (Şekil 6-9 ve Tablo 5).



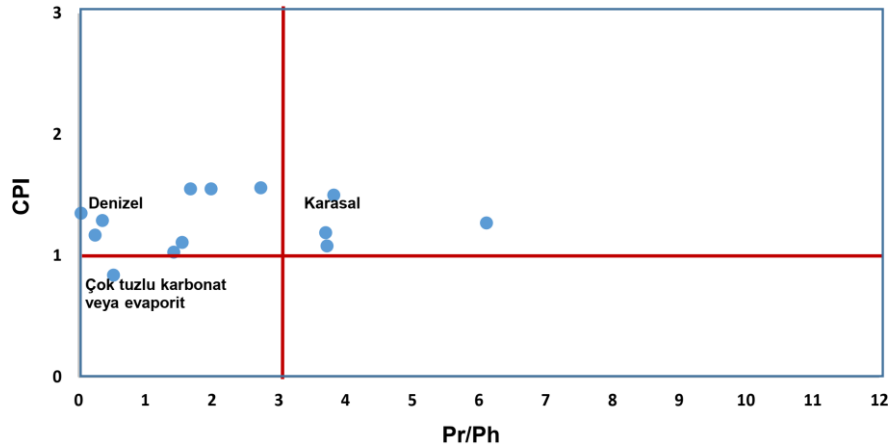
Şekil 6. Su numunelerinin Pr/n-C17-Ph/n-C18 diyagramı (diyagram: [89]'den)



Şekil 7. Su numunelerinin Pr/n-C17-Pr/Ph diyagramı (diyagram: [90-92]'den)



Şekil 8. Su numunelerinin Ph/Pr diyagramı (diyagram: [93]'den)



Şekil 9. Su numunelerinin CPI - Pr/Ph diyagramı (diyagram: [94]'den)

Tablo 5. Pr/Ph değerine göre hidrokarbonların kaynak kayası ve ortam ([93]'den düzenlenmiştir) (bkz. Şekil 8)

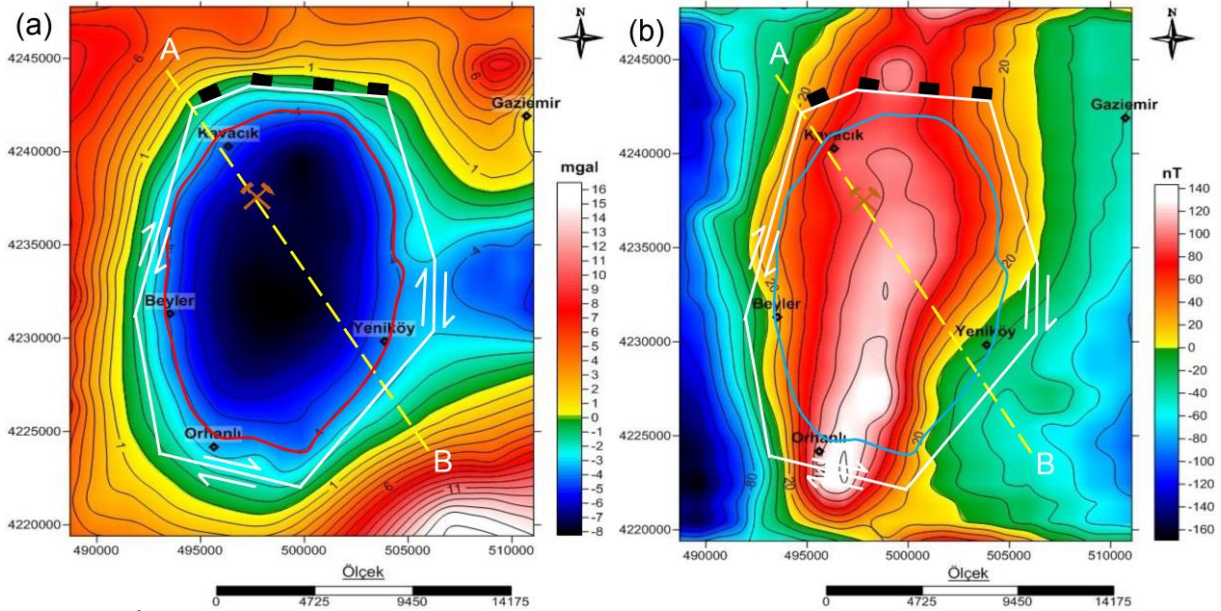
Pr/Ph	Kaynak kaya	Pr/Ph	Ortam
< 3	Denizel	< 0.8	Anoksik
3 - 5	Denizel - Karasal	> 0.8	Suboksik-Oksik
> 5	Karasal		

4.3. İnceleme Alanının Havadan Manyetik ve Gravite Haritaları ve Jeolojik Yorumları

Gravite ve manyetik verilerinin petrol ve doğalgaz aramalarında kullanımına yönelik yöntemleri ve saha uygulamalarını içeren çok sayıda çalışma mevcuttur (64-68,95-106). Gravite ve manyetik anomali analizi, Batı Sibirya'da hidrokarbon arama ve keşfinin yarım yüzyıldan bugüne kalıcı bir bileşeni olmuştur [103]. İnceleme alanında olduğu gibi, jeokimyasal araştırmalarla petrol hidrokarbonları varlığı kanıtlanmış (olgun hidrokarbonlarca zengin sular belirlenmiş) olan bölgelerdeki petrol ve/veya doğalgaz rezervuarının (kapanımın) yerinin belirlenmesi için özellikle sismik ölçümler çok önemlidir. Ancak, çalışma alanında değerlendirmeye esas olabilecek sismik ölçüm hatları bulunmamaktadır. Bu nedenle, çalışma alanının yeraltı jeolojisi MTA Genel Müdürlüğü tarafından üretilmiş olan gravite ve manyetik verilerden hazırlanan haritalar kullanılarak değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Hazırlanan gravite haritasında (Şekil 10), düşük yoğunluklu sedimanter kökenli kayalardan oluşan genç çökeller (silttaşı, çamurtaşı, kiltası, çakıltası, şeyl vb.) ve metamorfik kayalar (sleyt, fillit vb.) koyu mavi, açık mavi ve yeşil renk tonları ile yoğunluğu nispeten daha büyük olan kayalar ise turuncu, kırmızı ve sarı renk tonları ile temsil edilen yoğunluğu nispeten yüksek kayalardan (kristalize kireçtaşı, mermer, kuvarsit, şist vb.) kaynaklanan bir anomali yer almıştır. Gravite haritasında belirlenen yapısal unsurlar, Uzel ve Sözbilir [51] ve Özdemir ve diğ. [60] çalışmaları ile uyumludur.

Hazırlanan havadan manyetik haritada (Şekil 10), mavi, yeşil ve açık yeşil renkli alanlarda manyetik özelliği olmayan tamamen sedimanter (kumtaşı, kireçtaşı, silttaşı, çamurtaşı, kiltası, çakıltası, şeyl vb.) ve metamorfik kayalar (kristalize kireçtaşı, mermer, şist vb.) bulunmaktadır. Sarı, kırmızı ve beyaz renkli alanlarda ise, manyetik özelliği olan kayalar yer almaktadır (volkanik çakıllı kumtaşları, ofiyolitler, dayklar vb.). Çalışma alanında, baskın olarak sedimanter kayalardan oluşan Bornova Filiş Zonu birimlerinin yüksek manyetik anomalilere sahip olması, Seferihisar Yükselimi'ndeki keşfedilmemiş altın yatakları ve hidrokarbon rezervuarının bir göstergesi olabilir. Gadirov ve diğ. [96] ve Gadirov ve Eppelbaum [99], petrol ve/veya doğalgaz sahalarının bulunduğu alandaki sedimanter birimlerin yüksek manyetik anomalilere sahip olduğunu üretim yapılan sahalarından örnek çalışmalarla göstermişlerdir.

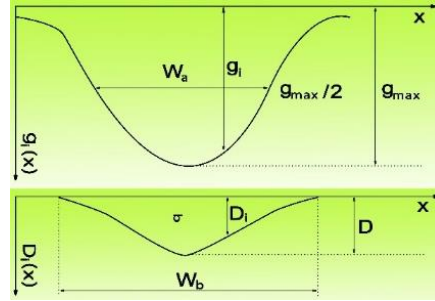


Şekil 10. İnceleme alanının gravite (a) ve havadan manyetik (b) anomalilerinin renk kontur haritası.

Muhtemel petrol ve/veya doğalgaz kapanı: gravite haritasında kırmızı renkli, manyetik haritada mavi renkli poligon, beyaz renkli çizgiler: doğrultu atımlı faylar, siyah renkli tırnaklar: normal fay, A-B hattı: yapı derinliğini belirlemek için alınan profil (Şekil 14), çekiç ve orak: Seferihisar Altın İşletmesi

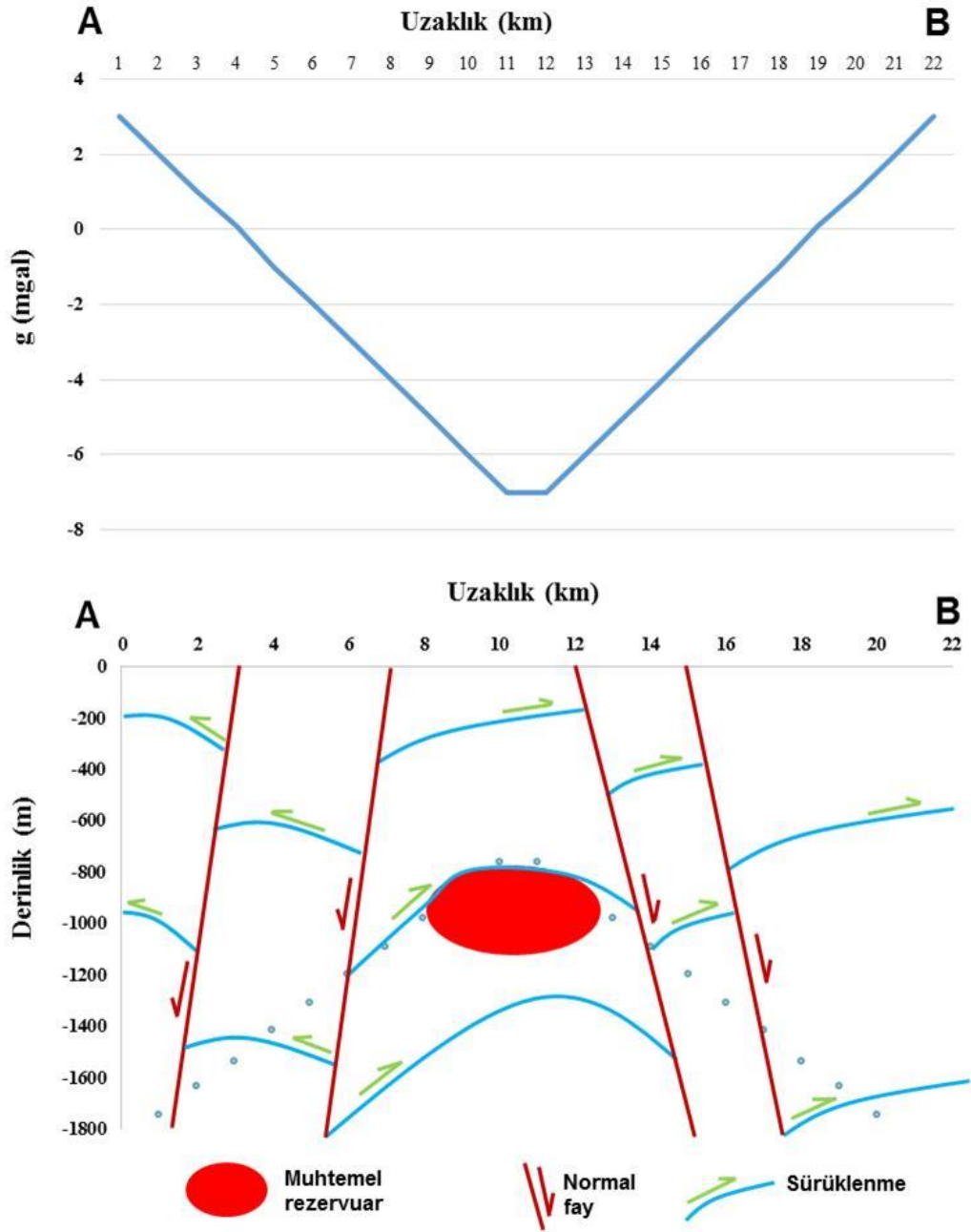
Çalışmada, iki boyutlu rezidüel gravite anomalilerini derinlik değerlerine dönüştürebilmek ve bir havza ve yapının derinliğini belirlemek amacıyla, Svancara [107] ve Töpfer [108] tarafından önerilen yorumlama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, yoğunluk kontrastının bilinmesi durumunda gravite anomalisi ve parametreler arasında kurulan basit ilişkilerle sedimanter bir havzanın ve yapının derinliği belirlenebilmektedir. Yorumlamanın ilk adımı, anomalinin karakteristik parametrelerini belirlemektir (Şekil 11). $A = g_{max}/W_a \times \sigma$ şeklinde tanımlanır (birimsizdir). g_{max} : gravite anomalisinin maksimum genliğidir (mgal). W_a : gravite anomalisinin yarı genlik ($g_{max}/2$) değerine karşılık gelen uzaklıktır (birimi m'dir). σ : yoğunluk kontrastıdır (gr/cm^3). W_b : gravite anomalisinin tam genişliğidir (birimi m'dir) ve $W_b/W_a = (-0.056 \times A) + 1.827$ formülü ile belirlenir (birimi m'dir). D_i, g_i : gravite anomali değerine karşılık gelen derinliktir (birimi m'dir). D_o : düz-plaka formülünden elde edilen derinliktir (birimi m'dir). $D_o = 23.866 \times g_{max}/\sigma$ formülü ile belirlenir ve birimi m'dir. D : maksimum derinliktir ve aşağıdaki formül ile belirlenir. 0

$< A < 9$ şartı için $D/D_0 = 0.072 \times A + 1.00$, $9 < A < 13$ şartı için $D/D_0 = 0.12 \times A + 0.57$ şeklindedir [108]. Çalışma alanının rezidüel gravite anomali haritasından bir A-B profili alınmıştır (Şekil 10). A-B profile ait anomalilere göre, yapının maksimum derinliği (D) = 765 m olarak belirlenmiştir (Şekil 12).

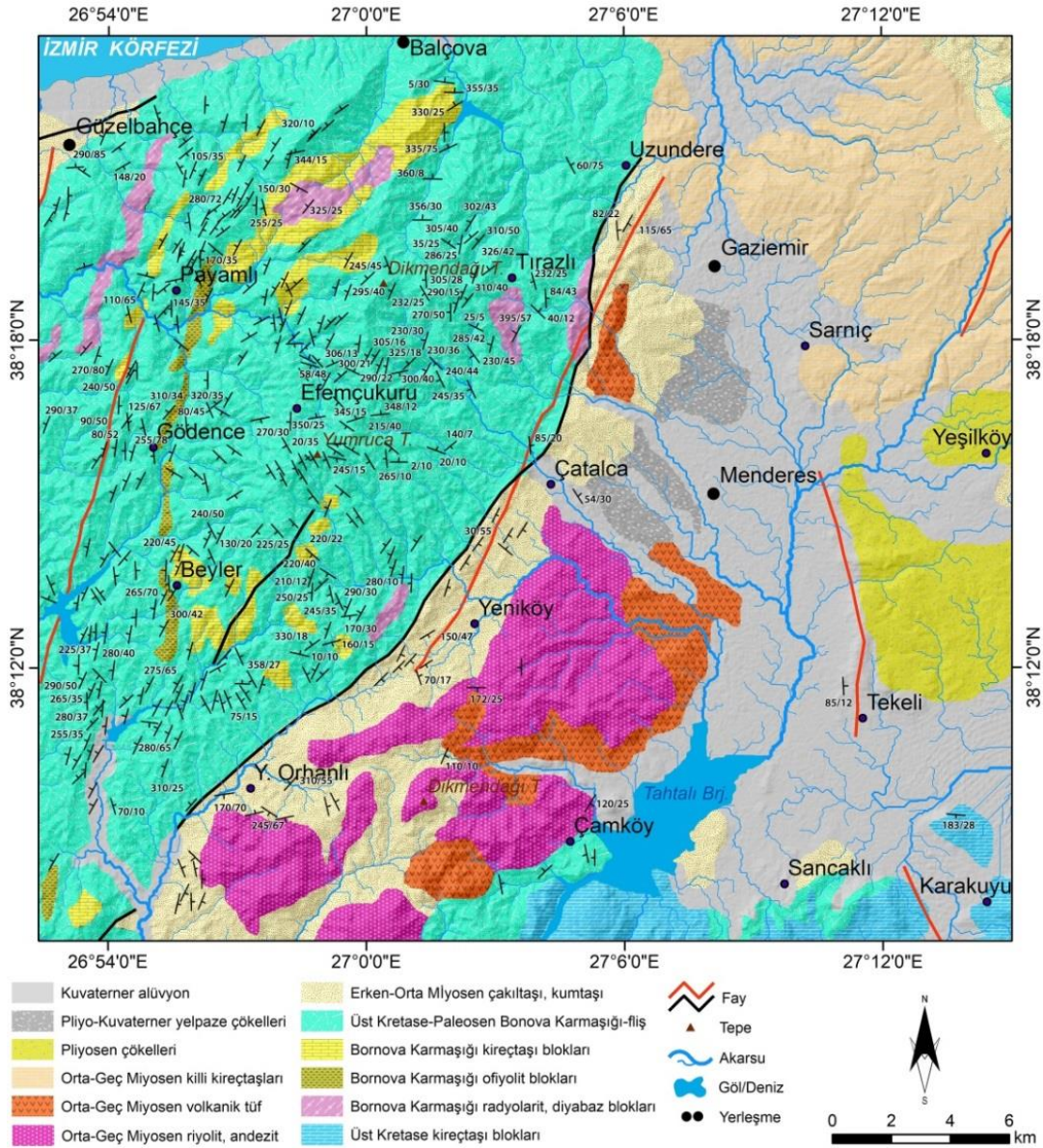


Şekil 11. İdeal bir havza gravite anomalisi ve karakteristik parametreler [107].

Seferihisar Yükselimi'nde tabakaların K00-30B ve K00-30D olarak yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 13). Bornova Filiş Zonu birimlerinde gerçekleştirilen 450'ye yakın tabaka ölçümüne göre, tabakaların tüm bölgede genel olarak KD-GB gidişli ve KB'ya eğimli oldukları belirlenmiştir. Seferihisar Yükselim Bölgesi'nde, KB'dan GD'ya doğru birbirine paralel 3-4 hat boyunca dizilen tabaka yönelimlerinin egemen olarak KB'ya doğru olması, yükselim bölgesinin KB-GD yönünde sıkıştığı ve bu yönde sürüklenmiş olabileceğini düşündürmektedir. Bölgede birbirine paralel 4 hat boyunca dizilen kireçtaşı ve ofiyolitik blokların uzun eksenlerinin KD-GB yönünde olması da bu sürüklenimin olabileceği görüşünü desteklemektedir [60].



Şekil 12. A-B profilinin jeolojik yorumu ve inceleme alanındaki muhtemel petrol ve/veya doğalgaz kapanının derinliği (bkz. Şekil 10).



Şekil 13. Seferihisar Yükselimi'nin jeolojisi üzerine aktarılmış tabaka yönelimleri [60].

Olgun hidrokarbonlarca zengin su numuneleri, çalışma alanında çalışan bir petrol sistemi için önemli bir kanıttır. Olgun petrol hidrokarbonlarının zengin yüzey ve yeraltı suları, hidrokarbon türeten etkin petrol kaynak kayaları ve yeraltındaki bir petrol ve/veya doğalgaz rezervuarı ile ilişkilidir. Derindeki kaynak kayalardan ve/veya rezervuardan yüzeye göç eden hidrokarbonca zengin sular, yüzeyde ve yüzeye yakın jeolojik ortamlarda (yüzey ve yeraltılarında) tanımlanabilir hidrokarbon konsantrasyonu değişikliklerine sebep olur [71]. İncelenen su numunelerindeki hidrokarbonlar, derinlerdeki hidrokarbonca zengin jeolojik birimlerden su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi sonucunda ve/veya gravite ve manyetik haritalarla belirlenen olası rezervuardan (Şekil 12 ve 14) çıkan sular yüzeye/yüzeye yakın bölümlere göçü sonucunda zenginleşmiş olmalıdır. Birbirleri ile oldukça uyumlu olan gravite ve manyetik haritaları ile belirlenen, baskın olarak KD-GB doğrultulu, hidrokarbonların kapanlanabileceği ve korunabileceği doğrultulu atımlı faylarla sınırlandırılmış antiklinal, bölgedeki olası petrol ve/veya doğalgaz rezervuarıdır (Şekil 10 ve 14).

Yapının doğrultu atımlı faylarla sınırlanmış olması, hidrokarbonların bu yapılarda birikmiş olma ihtimalini kuvvetlendirmektedir.



Şekil 14. İnceleme alanındaki muhtemel petrol ve/veya doğalgaz kapanı (kırmızı renkli poligon). Petrol hidrokarbonları içeren su numuneleri (sarı renkli rakamlı daireler); Efemçukuru altın işletmesi ruhsatı (pembe renkli polygon); doğrultu atımlı faylar (beyaz renkli çizgiler), normal fay (beyaz renkli tırnaklar); A-B hattı: yapı derinliğini belirlemek için alınan profil (Şekil 12),

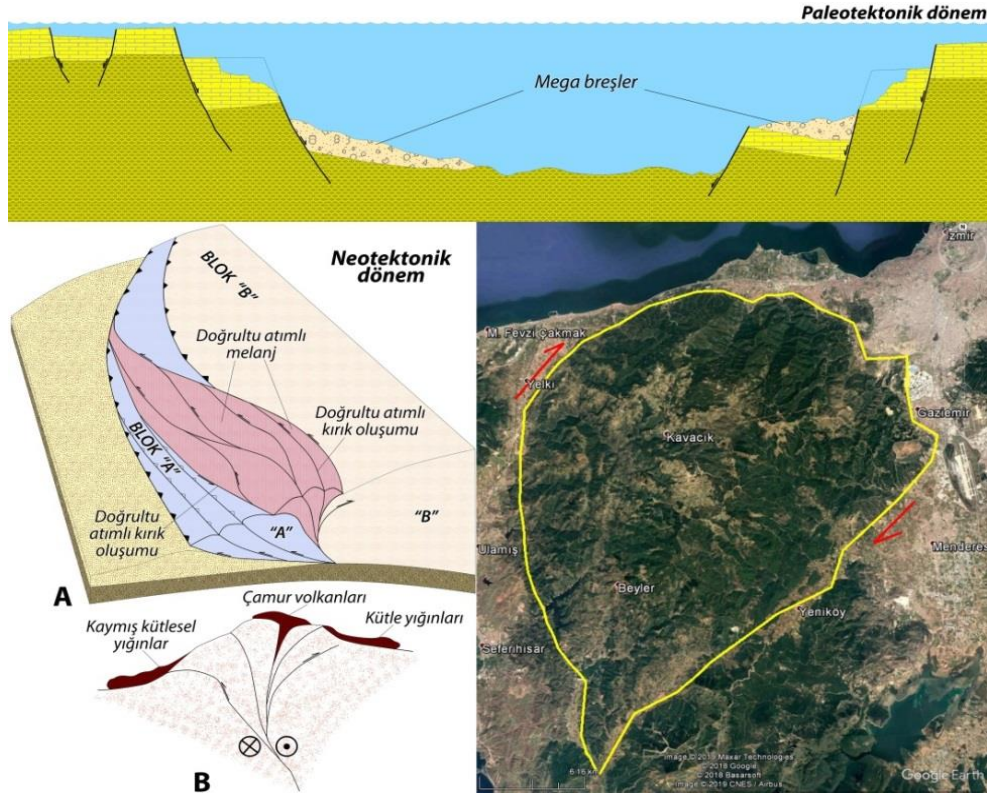
4.4. Çalışma Alanındaki Hidrokarbonların Kavramsal Oluşum, Göç ve Kapanlanma Modeli

Menderes Masifi ve Karaburun Yarımadası, Triyas'dan Kampaniyen sonuna kadar karbonat çökelinin geliştiği duraylı bir platform alanıdır. Kampaniyen - Erken Mestrihtiyen'de Bornova ile Seferihisar arasındaki bölgedeki ilk alçalma gerçekleşmiş ve bu havza içerisinde bloklu Bornova Filiş Zonu oluşmuştur. Matriksi filiş, mafik volkanikler, kalkerli şeyller ve çakıltılarından oluşan Bornova Filiş Zonundaki platform tipi kireçtaşı blokları, birkaç yüz metre hatta kilometrelerce uzunlukta ve kalınlıkta megabloklar halindedir. Bornova Filiş Zonu, iç yapısı ile bir yığılma prizması özelliği göstermektedir. Doğrudan ortama taşınan blokların yerleşimi sırasında, yumuşak olan matriks tabanından yukarıya doğru 5-6 km çamur enjeksiyonları (çamur volkanları) oluşmuştur (Şekil 15). Mestrihtiyen-Daniyen arasında ve filiş çökeli sırasında, platformun naplar şeklinde havza içerisine başlayan bu ilk deformasyonun ardından, Bornova Filiş Zonu büyük boyutta tektonik taşınmalarla Menderes Masifi üzerine itilmiştir. Orta Miyosen'den başlayarak bölgede Neotektonik evreye geçilmiş ve tansiyonel rejim altında Seferihisar Yükselimi gibi graben ve horst yapıları oluşmuştur [53].

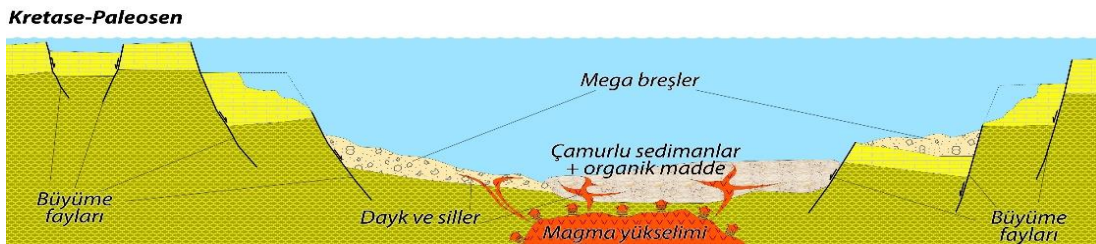
Festa ve diğ. [109], melanjların oluşum süreçlerini incelemiş ve melanjları sınıflandırmışlardır. Bu çalışmada, genişleme tektoniği ile ilişkili melanjlar Tip 1, doğrultu atımlı tektonizma ile ilişkili melanjlar da Tip 3 olarak sınıflandırılmıştır. Tip 1 melanjlar, genişleyen bir karbonat platformunda normal faylanma ile tetiklenen megabreş birikimini içerir. Ayrıca, genişlemeli riftleşme sırasında oluşan melanj örnekleridir. Tip 3 melanjlar, doğrultu atımlı tektonizma sonucunda, hem kırık hem de tektonik melanj oluşumunu içerir. Bu tip melanjlarda, pozitif ve negatif çiçek yapılarına bağlı olarak sedimanter melanjlar (çeşitli toplu kütle taşınma olayları ile oluşan yığınlar) ve çamur volkanları oluşabilir [109]. Seferihisar Yükselimi, Tip 1 (Paleotektonik dönem) ve Tip 3 (Neotektonik dönem) melanj oluşumlarının kombinasyonudur. Bornova

Filiş Zonu matriksindeki mafik volkanikler [53] ve diyabaz blokları (Şekil 13) [60], Bornova Filiş Zonu'nun oluşum sürecinde bir riftleşmenin varlığına işaret etmektedir (Şekil 15).

Özdemir ve Palabıyık [110,111], petrol ve doğalgaz kaynak kayalarının okyanus ortası sırtlarda ve kıta içi riftlerde -yayımla merkezleri- oluştuğunu belirtmişlerdir. Menderes Masifi ve Karaburun Yarımadası, Triyas'dan Kampaniyen sonuna kadar karbonat çökelinin geliştiği duraylı bir platform alanıdır. Bu duraylı platform alanı, Kretase - Paleosen'i ifade eden Paleotektonik dönemdeki genişleme ile birlikte riftleşmeye maruz kalmış ve çalışma alanı su numunelerindeki hidrokarbonları türeten kaynak kayalar bu riftleşme sonucunda gelişen rift havzasında oluşmuş olmalıdır (Şekil 16). Çünkü, incelenen su numunelerindeki hidrokarbonlar hem denizel hemde karasal kaynak kayalardan türemiştir (Şekil 6-9). Neotektonik dönemde, Tip 1 melanj oluşumu sırasında da göç etmiş ve kapanlanmış olmalıdır.



Şekil 15. Genişleme (Tip 1) ve doğrultu atımlı (Tip 3) tektonizma ile ilişkili kombine bir melanj olan ([109]'in sınıflamasına göre) tamamen Bornova Filiş Zonu birimlerini içeren Seferihisar Yükselimi'nin oluşumu ve yapısı için önerilen model



Şekil 16. Bornova Filiş Zonu'nda petrol kaynak kayası oluşumu için önerilen kavramsal modeli ([53,109-111]'den uyarlanmıştır).

Seferihisar Yükselimi su numunelerindeki hidrokarbonlar, Bornova Filiş Zonu birimlerindeki çalışan petrol sistemleri için jeokimyasal bir kanıttır. Bu veri, İzmir-Balıkesir-Manisa illerinde geniş bir yayılıma sahip olan Kretase - Paleosen yaşlı Bornova Filiş Zonu birimlerinde çalışan petrol sistemleri için önemli bir potansiyel bulunduğunu (Şekil 17), dolayısıyla bu birimlerde bu çalışmada kullanılan jeokimyasal analiz ve yorumlama yöntemleri esas alınarak detaylı jeolojik ve jeofizik arama çalışmalarının yapılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 17. Bornova Filiş Zonu'nun Batı Anadolu'daki yayılımı (Üstteki harita, [112]'den değiştirilerek). Au: altın yatakları ve zuhurları ([113]'den).

Çamur volkanı adı verilen çamur enjeksiyonu oluşumları ile petrol ve doğalgaz sahaları arasında oldukça yakın bir ilişki bulunmaktadır. Gaz ve su çıkışları ile sıkı ilişkili olan bu volkanlar, genellikle antiklinal doruklarına veya kıvrımlanma sonucu oluşan kırıklara yakın yerlerde oluşurlar [114]. Çamur volkanları ve petrol sistemleri arasındaki yakın ilişki, birçok çalışmada kanıtlanmıştır [115-129]. Dolayısıyla, Erdoğan [53] ve Festa ve diğ. [109]'nin çalışmalarında belirtildiği gibi, Bornova Filiş Zonu'nun tektonik evrimi sırasında oluşmuş çamur volkanlarının konumlarının ve özelliklerinin belirlenmesi, Bornova Filiş Zonu'ndaki petrol sistemlerinin çözülmesi açısından önemlidir.

5. SONUÇ

Seferihisar Yükselimi'nin petrol ve doğalgaz potansiyelinin soğuk su kaynaklarından alınan örnekler üzerinde yapılan TPH analizleri ile araştırılması amaçlanan çalışmada, toplanan su numunelerinde yapılan TPH analizi sonuçlarına göre, su numunelerinin tamamında hidrokarbonlar tespit edilmiştir. TPH değerleri, yüzey ve yeraltılarında bulunması gereken hidrokarbon sınır değerlerinden oldukça yüksektir. Su numunelerindeki n-alkanların kaynağı, petrojenik hidrokarbonlar ve organik maddece zengin yaşlı sedimanlardır. Su-kayaç-hidrokarbon etkileşimi, inceleme alanındaki sulara hidrokarbon zenginleşmesine sebep olmuştur. Hidrokarbonlar, biyolojik olarak bozunmamıştır. Hidrokarbonları türeten kaynak kayalar, yüksek anoksik-anoksik-suboksik denizel (Tip-II kerojen) ve anoksik-suboksik geçiş ortamında (Tip II-III kerojen) çökelmiş olup, hidrokarbonlar olgun-yüksek olgundur.

Olgun hidrokarbonlarca zengin su numuneleri, çalışma alanında çalışan bir petrol sistemi için önemli bir kanıttır. Çalışma alanında, baskın olarak sedimanter kayaçlardan oluşan Bornova Filiş Zonu birimlerinin yüksek manyetik değerlere sahip olması, Seferihisar Yükselimi'ndeki keşfedilmemiş altın yatakları ve hidrokarbon rezervuarının bir göstergesi olarak düşünülmektedir. Birbirleri ile oldukça uyumlu olan gravite ve manyetik haritaları ile belirlenen, baskın olarak KD-GB doğrultulu hidrokarbonların kapanabileceği ve korunabileceği doğrultu atımlı faylarla sınırlandırılmış antiklinal, bölgedeki olası petrol ve/veya doğalgaz rezervuarıdır. Yapının doğrultu atımlı faylarla sınırlandırılmış olması, hidrokarbonların bu yapılar da birikmiş olma ihtimalini kuvvetlendirmektedir. İncelenen su numunelerindeki hidrokarbonlar, gravite ve manyetik haritalarla belirlenen olası rezervuardan yüzeye/yüzeye yakın bölümlere göçmüş ve sığ yeraltıları ile karışmış olmalıdır.

Çalışma alanında, baskın olarak sedimanter kayaçlardan oluşan Bornova Karmaşığı birimlerinin yüksek manyetik değerlere sahip olması, Seferihisar Yükselimi'ndeki keşfedilmemiş altın yatakları ve hidrokarbon rezervuarının bir göstergesidir. Ayrıca, sular da belirlenen hidrokarbonlar ile bölgedeki altın yatakları arasında jeokimyasal ve minerajolojik-petrografik yöntemlerle belirlenebilecek bir ilişkinin olduğu açıktır.

TEŞEKKÜR BÖLÜMÜ

Bu çalışma, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Geliştirme Projeleri Birimi Koordinatörlüğü tarafından finansal olarak desteklenen SOS-A-100719-0267 nolu projenin bulgularının bir kısmını içermekte olup, çalışmaya sağladığı destek için Koordinatörlüğe ve numunelerin laboratuvar analizlerini titizlikle yapan başta Sn. Serkan Çelebi olmak üzere SGS Supervise Gözetleme Etüt Kontrol Servisleri A.Ş. uzmanlarına teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

- [1] Özdemir, A. and Palabiyik, Y., (2019). A shallow and reliable indicator for deep oil and gas accumulations in the subsurface: Metallic ore deposits. IV. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi - Mühendislik Bilimleri (BILMES EN), 07 - 10 Kasım 2019, Ankara, 40-57

- [2] zdemir, A. and Palabiyik, Y., (2019). Significance of relationships between hydrocarbons and metallic ore deposits in oil and gas exploration: Part I. Gold deposits. BİLTEK Uluslararası Bilim, Teknoloji ve Sosyal Bilgilerde Gncel Geliřmeler Sempozyumu, 21-22 Aralık 2019, Ankara, 219-229
- [3] Radtke, A.S. and Scheiner, B.J., (1970). Studies of hydrothermal gold deposition (I). Carlin gold deposit, Nevada: the role of carbonaceous materials in gold deposition. *Economic Geology*, 65, 87-102
- [4] Sverjensky, D.A., (1984). Oil field brines as ore-forming solution. *Economical Geology*, 17, 23-37
- [5] Radtke, A.S. (1985). Geology of the Carlin gold deposit, Nevada. US Geological Survey Professional Paper 1267, 124 p.
- [6] Ilchik, R.P., Brimhall, G.H., and Schull, H.W., (1986). Hydrothermal maturation of organic matter at the Alligator Ridge gold deposits, Nevada. *Economic Geology*, 81, 113-130
- [7] Gorzhevskiy, D.I., (1987). On the role of organic matter in ore formation. *International Geology Review*, 29(2), 207-217
- [8] Parnell, J., (1988). Metal enrichments in solid bitumens. *Miner Deposita*, 23, 191-199
- [9] Nelson, C.E., (1990). Comparative geochemistry of jasperoids from Carlin-type gold deposits of the western United States. *Journal of Geochemical Exploration*, 36, 171-195
- [10] Nelson, C.E., (1991). Metalliferous marine black shales and fossil petroleum reservoirs - source rock and host environment for Carlin-type gold deposits. *Geology and Ore Deposits of the Great Basin - Symposium Proceedings*, Geological Society of Nevada, 249-254
- [11] Disnar, J.R., Sureau, J.F., (1990). Organic matter in ore genesis: Process and perspectives. *Advances in Organic Geochemistry*. 16(1-3), 577-599
- [12] Berger, B.R. and Bagby, W.E., (1991). The geology and origin of Carlin-type gold deposits. *in* R. P. Foster (Ed.), *Gold Metallogeny and Exploration*, 210-248
- [13] Percy, E.C. and Burruss, R.C., (1993). Hydrocarbons and gold mineralization in the hot-spring deposit at Cherry Hill, California. *in* J. Parnell, H. Kucha, P. Landais (editors), *Bitumens in Ore Deposits*, 117-137
- [14] Gize, A.P. and Manning, D.A.C., (1993). Aspects of the organic geochemistry and petrology of metalliferous ores. *In* *Organic Geochemistry: Principles and Applications*, M.H. Engel and S.A. Macko (eds), 565-580
- [15] Hulen, J.B. and Collister, J.W., (1999). The oil-bearing, Carlin-type gold deposits of the Yankee basin, Alligator Ridge district, Nevada. *Economic Geology*, 94, 1029-1049
- [16] Hulen, J.B., Collister, J.W., Stout, B., Curtiss, D.K., and Dahdah, N.F., (1998). The exhumed "Carlin-type" fossil oil reservoir at Yankee Basin. *JOM*, 50, 30-34. <https://doi.org/10.1007/s11837-998-0303-9>
- [17] Hulen, J.B., (1993). Assessing the role of ancient and active geothermal systems in oil-reservoir evolution in the Eastern Basin and Range Province, Western USA. Office of Basic Energy Sciences, Division of Engineering and Geosciences, U.S. Department of Energy, 21 p.
- [18] Nicholson, K., (1994). Fluid chemistry and hydrological regimes in geothermal systems: a possible link between gold-depositing and hydrocarbon-bearing aqueous systems. *in* Parnell, J. (ed.), *Geofluids: Origin*,

- Migration and Evolution of Fluids in Sedimentary Basins. Geological Society Special Publication 78, 221-232
- [19] Kuehn, C.A. and Rose, A.W., (1995). Carlin gold deposits, Nevada: Origin in a deep zone of mixing between normally pressured and overpressured fluids. *Economic Geology*, 90, 17-36
- [20] Arehart, G.B., (1996). Characteristics and origin of sediment-hosted gold deposits: a review. *Ore Geology Review*, 11, 383-403
- [21] Robb, L.J., Charlesworth, E.G., Drennan, G.R., Gibson, R.L., and Tongu, E.L., (1997). Tectono-metamorphic setting and paragenetic sequence of Au-U mineralisation in the Archaean Witwatersrand Basin, South Africa. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44(3), 353-371
- [22] Zhuang, H.P., Lu, J.L., Fu, J.M., Ren, C.G., and Zou, D.G., (1999). Crude oil as carrier of gold: petrological and geochemical evidence from the Lannigou gold deposit in southwestern Guizhou, China. *Science China D: Earth Sciences*, 42, 216-224
- [23] Bao, Z., (2001). Geochemistry of the Sediment-hosted Disseminated Gold Deposits in Southwestern Guizhou Province, China. Universite du Quebec, PhD Thesis, 245 p.
- [24] Bao, Z., Zhao Z., Guha, J., (2005). Organic geochemistry of sedimentary rock-hosted disseminated gold deposits in Southwestern Guizhou Province, China. *Acta Geologica Sinica*, 79(1), 120-133
- [25] Bao, Z. and Guha, J., (2007). Metallogeny of the Lannigou sedimentary rock-hosted disseminated gold deposit in Southwestern Guizhou Province, China. *Acta Geologica Sinica*, 81(1), 121-134
- [26] Emsbo, P., Hutchinson, R.W., Hofstra, A.H., Volk, J.A., Bettles, K.H., Baschuk, G.J., and Johnson, C.A., (1999). Syngenetic Au on the Carlin trend: implications for Carlin-type deposits. *Geology*, 27, 59-62
- [27] Mossman, D.J., (1999). Carbonaceous substances in mineral deposits: implications for geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 66, 241-247
- [28] Parnell, J. and McCready, A., (2000). Paragenesis of gold- and hydrocarbon-bearing fluids in gold deposits. *in: M. Glikson and M. Mastalerz (eds.) Organic Matter and Mineralisation: Thermal Alteration, Hydrocarbon Generation and Role in Metallogenesis*, 38-52
- [29] Sherlock, R., (2000). The association of gold-mercury mineralization and hydrocarbons in the coastal ranges of northern California. *in: M. Glikson and M. Mastalerz (eds.) Organic Matter and Mineralisation: Thermal Alteration, Hydrocarbon Generation and Role in Metallogenesis*, 378-399
- [30] Mastalerz, M., Bustin, R.M., Sinclair, A.J., Stankiewicz, B.A., and Thomson, M.L., (2000). Implications of hydrocarbons in gold-bearing epithermal systems: Selected examples from the Canadian Cordillera. *in: M. Glikson and M. Mastalerz (eds.) Organic Matter and Mineralisation: Thermal Alteration, Hydrocarbon Generation and Role in Metallogenesis*, 378-399
- [31] Drennan, G.R. and Robb, L.J., (2006). The nature of hydrocarbons and related fluids in the Witwatersrand Basin, South Africa: Their role in metal redistribution, *in Reimold, W.U., and Gibson, R.L., Processes on the early Earth: Geological Society of America Special Paper 405*, 353-385

- [32] Mossman, D.J., Minter, W.E.L., Dutkiewicz, A., Hallbauer, D.K., George, S.C., Hennigh, Q., Reimer, T.O., Horscroft, F.D., (2008). The indigenous origin of Witwatersrand "carbon". *Precambrian Research*, 164, 173-186
- [33] Schaefer, B.F., Pearson, D.G., Rogers, N.W., and Barnicoat, A.C., 2010. Re-Os isotope and PGE constraints on the timing and origin of gold mineralisation in the Witwatersrand Basin. *Chemical Geology*, 276, 88-94
- [34] Large, R.R., Bull, S.W., and Maslennikov, V.V., (2011). A carbonaceous sedimentary source-rock model for carlin-type and orogenic gold deposits. *Economic Geology*, 106, 331-358
- [35] Gu, X.X., Zhang, Y.M., Li, B.H., Dong, S.Y., Xue, C.J., and Fu, S.H., (2012). Hydrocarbon- and ore-bearing basinal fluids: a possible link between gold mineralization and hydrocarbon accumulation in the Youjiang basin, South China. *Miner Deposita*, 47:663-682
- [36] Gu, X.X., Liu, J.M., Schulz, O., Vavtar, F., and Zheng, M.H., (2002). Syngenetic origin for the sediment-hosted disseminated gold deposits in NW Sichuan, China: ore fabric evidence. *Ore Geology Review*, 22, 91-116
- [37] Gaboury, D., (2013). Does gold in orogenic deposits come from pyrite in deeply buried carbon-rich sediments?: Insight from volatiles in fluid inclusions. *Geology*, 41, 1207-1210
- [38] Stein H.J., (2014). Dating and Tracing the History of Ore Formation. *in* Holland H.D. and Turekian K.K. (eds.) *Treatise on Geochemistry*, Second Edition, Vol. 13, 87-118
- [39] Wenzhi, Z., Suyun, H., Wei, L., Tongshan, W., and Hua, J., (2015). The multi-staged "golden zones" of hydrocarbon exploration in superimposed petroliferous basins of onshore China and its significance. *Petroleum Exploration and Development*, 42(1), 1-13
- [40] Liu, J., Dai, H., Zhai, D., Wang, J., Wang, Y., Yang, L., Mao, G., Liu, X., Liao, Y., Yu, C., Li, Q., (2015). Geological and geochemical characteristics and formation mechanisms of the Zhaishang Carlin-like type gold deposit, western Qinling Mountains, China. *Ore Geology Reviews*, 64, 273-298
- [41] Molnár, F., Oduro, H., Cook, N.D.J., Pohjolainen, E., Takács, A., O'Brien, H., Pakkanen, L., Johanson, B. and Wirth, R., (2016). Association of gold with uraninite and pyrobitumen in the metavolcanic rock hosted hydrothermal Au-U mineralisation at Rompas, Peräpohja Schist Belt, northern Finland. *Miner Deposita*, 51, 681-702
- [42] Migdisov, A.A., Guo, X., Xu, H., Williams-Jones, A.E., Sun, C.J., Vasyukova, O., Sugiyama, I., Fuchs, S., Pearce, K., and Roback, R., (2017). Hydrocarbons as ore fluids. *Geochem. Persp. Let.*, 5, 47-52
- [43] Frimmel, H.E., (2018). Episodic concentration of gold to ore grade through Earth's history. *Earth-Science Reviews*, doi:10.1016/j.earscirev.2018.03.011
- [44] Crede, L.S., Evans, K.A., Rempel, K.U., Brugger, J., Etschmann, B., Bourdet, J., and Reith, F., (2019). Revisiting hydrocarbon phase mobilization of Au in the Au-Hg McLaughlin Mine, Geysers/Clear Lake area, California, *Ore Geology Reviews*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103218>
- [45] Zhuang, H.P., Lu, J.L., Fu, J.M., Ren, C.G., Zou, D.G., (1999). Crude oil as carrier of gold: petrological and geochemical evidence from the Lannigou gold deposit in southwestern Guizhou, China. *Science China D: Earth Sciences*, 42, 216-224

- [46] Oyman, T., Minareci, F., and Pişkin, Ö., (2003). Efemçukuru B-rich epithermal gold deposit (İzmir, Turkey). *Ore Geology Reviews*, 23, 35-53
- [47] Tüprag, (2020). <http://www.tuprag.com.tr/en/projects/efemcukuru-gold-mine/8/-introduction-and-purpose-of-the-project/29>
- [48] Genç, S.C., Altunkaynak, S., Karacık, Z., Yazman, M., and Yılmaz, Y., (2001). The Çubukludağ graben, south of İzmir: its tectonic significance in the Neogene geological evolution of the western Anatolia. *Geodinamica Acta*, 14 (1/3), 45-55
- [49] Akar, A.T., (2012). Seferihisar ve Balçova Jeotermal Alanlarında ve Çevre Akiferlerinde Akışkan Akımının Modellenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Doktora Tezi, 194 s.
- [50] Drahor, M.G. and Berge, M.A., (2006). Geophysical investigations of the Seferihisar geothermal area, Western Anatolia, Turkey. *Geothermics*, 35, 302-320
- [51] Uzel, B. and Sözbilir, H., (2008). A First record of strike-slip basin in western Anatolia and its tectonic implication: The Cumaovası basin. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 559-591
- [52] Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. and Kuşçu, I., (2004). Neotectonic structures in the area offshore of Alaçatı, Doğanbey and Kuşadası (western Turkey): evidence of strikeslip faulting in the Aegean extensional province. *Tectonophysics*, 391, 67-83
- [53] Erdoğan, B., (1990). İzmir - Ankara zonunun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi. *Türkiye Petrol Jeologlar Derneği*, 2(1), 1-19
- [54] Erdoğan, B., (1990). İzmir-Ankara zonu ile Karaburun tektonik kuşağının ilişkisi. *Maden Tetkik ve Arama dergisi*, 110, 1-15
- [55] Şalk, M., Göktürkler, G., Özel, M., Karaman, I.H., and Sarı, C., (1999). Crustal temperature distributions in the Western Turkey. Second Balkan Geophysical Congress and Exhibition, İstanbul, Turkey, July 5-9, Book of Abstracts, 174-175
- [56] Eşder, T. and Şimşek, Ş., (1975). Geology of İzmir (Seferihisar) geothermal area, Western Anatolia of Turkey: determination of reservoirs by means of gradient drilling. In: *Proceedings of the Second UN Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources*, San Francisco, CA, 349-361
- [57] Aksoy, N., Serpen, U., and Filiz, S., (2008). Management of the Balçova-Narlidere geothermal reservoir, Turkey. *Geothermics*, 37, 444-466
- [58] Aksoy, N., Şimşek, C., and Gündüz, O., (2008). Groundwater contamination mechanism in a geothermal field: A case study of Balçova, Turkey. *Journal of Contaminant Hydrogeology*, 103(1-2), 13-28
- [59] Eşder, T. and Şimşek, Ş., (1977). The relationship between the temperature gradient distribution and geological structure in the İzmir-Seferihisar geothermal area, Turkey. in *Symposium on Geothermal Energy CENTO Scientific Programme*, Ankara, 93-111
- [60] Özdemir, A., Demirtaş, R. ve Arabacı, F., (2015). Seferihisar Yükselimi Jeolojik Etüt Raporu. 180 s (Yayımlanmamış)

- [61] Eymold, W.K., Swana, K., Moore, M.T., Whyte, C.J., Harkness, J.S., Talma, S., Murray, R., Moortgat, J.B., Miller, J., Vengosh, A., and Darrah., T.H., (2018). Hydrocarbon-rich groundwater above shale-gas formations: A Karoo basin case study. *Groundwater*, 56(2), 204-224
- [62] Kreuzer, R.L., Darrah, T.H., Grove, B.S., Moore, M.T., Warner, N.R., Eymold, W.K., and Poreda, R.J., (2018). Structural and hydrogeological controls on hydrocarbon and brine migration into drinking water aquifers in Southern New York. *Groundwater*, 56(2), 225-244
- [63] Dultsev, F.F., and Chernykh, A.V., (2020). Geochemistry of water-dissolved gases of oil-and-gas bearing deposits in Northern and Arctic Regions of Western Siberia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 459, 042024, doi:10.1088/1755-1315/459/4/042024
- [64] Özdemir, A., (2019). Hasanoğlan (Ankara) petrol sisteminin organik hidrojeokimyasal kanıtları. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(6), 748-763
- [65] Özdemir, A., (2019). Mamak (Ankara) çalışan petrol sistemini jeokimyasal kanıtı olarak olgun hidrokarbonlarca zengin sular ve bölgedeki potansiyel kapan alanı. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 17, 244-260
- [66] Özdemir, A., (2019). Büyük Menderes grabeni (Batı Anadolu) Neojen öncesi petrol sisteminin organik hidrojeokimyasal kanıtları ve potansiyel kapanlar. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 16, 325-354
- [67] Özdemir, A., Palabiyik, Y., Karataş, A. and Sahinoglu, A., (2020). Organic geochemical evidence of the working petroleum system in Beypazarı Neogene Basin and potential traps (Northwest Central Anatolia, Turkey). *Turkish Journal of Geosciences*, 1(2), 35-52
- [68] Özdemir, A., Palabiyik, Y., Karataş, A. and Sahinoglu, A., (2022). Mature petroleum hydrocarbons contamination in surface and subsurface waters of Kızılırmak Graben (Central Anatolia, Turkey): Geochemical evidence for a working petroleum system associated with a possible salt diapir. *Turkish Journal of Engineering*, 6(1), 1-15
- [69] Palabiyik, Y. ve Özdemir, A., (2020). Türkiye’de petrol ve doğalgaz aranması için suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizinin kullanımı: Batı, Kuzeybatı ve Orta Anadolu’dan örnek çalışmalar ve önemli sonuçlar. Türkiye IV. Bilimsel ve Teknik Petrol Kongresi, 18-20 Kasım 2020, Ankara (baskıda)
- [70] Özdemir, A. ve Palabiyik, Y., (2020). Doğu Pontidler’de olasılıkla Jura-Kretase riftleşmeleri ile ilişkili hidrokarbon oluşumu ve türümü için bulgular. 4. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi, 28-30 Eylül 2020, 390-398
- [71] Özdemir, A., (2018). Suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizinin petrol ve doğalgaz arama amaçlı kullanımı: Türkiye’den ilk önemli sonuçlar. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(4), 615-636
- [72] Liu, S., Qi, S., Luo, Z., Liu, F., Ding, Y., Huang, H., Chen, Z., and Cheng, S., (2018). The origin of high hydrocarbon groundwater in shallow Triassic aquifer in Northwest Guizhou, China. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(1), 415-433
- [73] Hunt, J.M., (1995). *Petroleum Geochemistry and Geology*. W.H. Freeman and Company, New York. 743 p

- [74] Zemo, D.A. and Foote, G.R., (2003). The technical case eliminating the use of the TPH analysis in assessing and regulating dissolved petroleum hydrocarbons in groundwater. *Ground Water Monitoring & Remediation*, 23(3), 95-104
- [75] Tarım ve Orman Bakanlığı, 2004. Türkiye Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/08/20160810-9.htm>
- [76] Tarım ve Orman Bakanlığı, 2004. Türkiye Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.7221&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=>
- [77] Tissot, B.P. and Welte, D.H., (1984). *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer-Verlag, 699 p.
- [78] Peters, K.E. and Moldowan, J.M., (1993). *The Biomarker Guide, Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments*. Englewood Cliffs, Jersey, Prentice Hall, 339-363
- [79] Tran, K.L. and Philippe, B., (1993). Oil and rock extract analysis. in *Applied Petroleum Geochemistry* (M.L., Bordenave, eds.), p. 373-394
- [80] Beyer, J., Jonsson, G., Porte, C., Krahn, M.M. and Ariese, F., (2010). Analytical methods for determining metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) pollutants in fish bile: a review. *Environ. Toxicol Pharmacol*, 30(3), 224-244
- [81] Mille, G., Asia, L., Guiliano, M., Malleret, L. and Doumenq, P., (2007). Hydrocarbons in coastal sediments from the Mediterranean Sea (Gulf of Fos area, France). *Marine Pollution Bulletin*, 54, 566-575
- [82] Waples, D.W., (1985). *Geochemistry in Petroleum Exploration*. International Human Resources Development Corp., 232 p.
- [83] Onojake, M.C., Osuji, L.C. and Oforka, N.C., (2013). Preliminary hydrocarbon analysis of crude oils from Umutu/Bomu fields, south west Niger Delta Nigeria. *Egyptian Journal of Petroleum*, 22, 217-224
- [84] Bray, E.E. and Evans, E.D., (1961). Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 22, 2-15
- [85] Bray, E.E. and Evans, E.D., (1965). Hydrocarbons in non-reservoir-rock source beds: Part 1. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 49, 248-257
- [86] Didyk, B.M., Simoneit, B.R.T., Brassel, S.C. and Englington, G., (1978). Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation. *Nature*, 272, 216-222
- [87] Volkman, J.K. and Maxwell, J.R., (1986). Acyclic isoprenoids as biological markers. In: *Biological Markers in the Sedimentary Record* (R.B. Johns, eds.), Elsevier, New York; pp. 1-42
- [88] Hartkopf-Fröder, C., Kloppisch, M., Mann, U., Neumann-Mahlkau, P., Schaefer, R.G. and Wilkes, H., (2007). The end-Frasnian mass extinction in the Eifel Mountains, Germany: new insights from organic matter composition and preservation. *Geological Society, London, Special Publications*, 278, 173-196. doi: 10.1144/SP278.8
- [89] Shanmugam, G., (1985). Significance of coniferous rain forests and related oil, Gippsland Basin, Australia. *AAPG Bulletin*, 69, 1241-1254

- [90] Larasati, D., Suprayogi, K. and Akbar, A., (2016). Crude oil characterization of Tarakan basin: Application of biomarkers. The 9th International Conference on Petroleum Geochemistry in the Africa - Asia Region Bandung, Indonesia, 15 -17 November 2016
- [91] Devi, E.A., Rachman, F., Satyana, A.H., Fahrudin, and Setyawan, R., (2018). Geochemistry of Mudi and Sukowati oils, East Java basin and their correlative source rocks: Biomarkers and isotopic characterisation. Proceedings, Indonesian Petroleum Association, Forty-Second Annual Convention & Exhibition, May 2018
- [92] Syaifudin, M., Eddy, A., Subroto, E.A., Noeradi, D. and Kesumajana, A.H.P., (2015). Characterization and correlation study of source rocks and oils in Kuang area, South Sumatra basin: The potential of Lemat formation as hydrocarbon source rocks. Proceedings of Indonesian Petroleum Association, Thirty-Ninth Annual Convention & Exhibition, May 2015, IPA15-G-034
- [93] Banga, T., Capuano, R.M. and Bissada, K.K., (2011). Petroleum generation in the southeast Texas basin: Implications for hydrocarbon occurrence at the South Liberty salt dome. AAPG Bulletin, 95(7), 1257-1291
- [94] Hakimi, M.H., Al-Matary, A.M. and Ahmed, A., (2018). Bulk geochemical characteristics and carbon isotope composition of oils from the Sayhut sub-basin in the Gulf of Aden with emphasis on organic matter input, age and maturity. Egyptian Journal of Petroleum, <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.06.002>
- [95] Nettleton, L.L., (1976). Gravity and Magnetics in Oil Prospecting. McGraw-Hill, 464 p.
- [96] Aydın, A., (1997). Gravite Verilerinin Normalize Edilmiş Tam Gradyan, Varyasyon ve İstatistik Yöntemleri ile Hidrokarbon Açısından Değerlendirilmesi, Model Çalışmalar ve Hasankale-Horasan (Erzurum) Havzasına Uygulanması. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 151 s.
- [97] Aydın, A., (2004). Gravite anomalilerinin doğrudan yorum yöntemleri ile değerlendirilmesi: Hasankale-Horasan bölgesinden bir uygulama. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(1), 95-102
- [98] Gadirov, V.G., Eppelbaum, L.V., Kuderavets, R.S., Menshov, O.I., and Gadirov, K.V., (2018). Indicative features of local magnetic anomalies from hydrocarbon deposits: examples from Azerbaijan and Ukraine, Acta Geophysica, doi: 10.1007/s11600-018-0224-0
- [99] Gadirov, V.G. and Eppelbaum, L.V., (2012). Detailed gravity, magnetics successful in exploring Azerbaijan onshore areas. Oil and Gas Journal, 5, 60-73
- [100] Gadirov, V.G., (1994). The physical-geological principles of application of gravity and magnetic prospecting in searching oil and gas deposits. Proceed. of 10th Petroleum Congress and Exhibition of Turkey, Ankara, pp. 197-20
- [101] Geist, E.L., Childs, J.R., and Scholl, D.W., (1987). Evolution and petroleum geology of Amlia and Amukta intra-arc summit basins, Aleutian Ridge. Marine and Petroleum Geology, 4, 334-352
- [102] Lyatsky, H.V., Thurston, J.B., Brown, R.J. and Lyatsky, V.B., (1992). Hydrocarbon exploration applications of potential field horizontal gradient vector maps. Canadian Society of Exploration Geophysicists Recorder, 17(9), 10-15
- [103] Piskarev, A.L. and Tchernyshev, M.Y., (1997). Magnetic and gravity anomaly patterns related to hydrocarbon fields in northern West Siberia. Geophysics, 62(3), 831-841

- [104] Satyana, A.H., (2015). Subvolcanic hydrocarbon prospectivity of Java: Opportunities and challenges. Proceedings, Indonesian Petroleum Association. Thirty-Ninth Annual Convention & Exhibition, May 2015. IPA15-G-105
- [105] Stephen, O.I. and Iduma, U., (2018). Hydrocarbon potential of Nigeria's Inland Basin: Case study of Afikpo basin. *Journal of Applied Geology and Geophysics*, 6(4), 1-24
- [106] Eke, P.O. and Okeke, F.N., (2016). Identification of hydrocarbon regions in Southern Niger Delta Basin of Nigeria from potential field data. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 5(11), 96-99
- [107] Svancara, J., (1983). Approximate method for direct interpretation of gravity anomalies caused by surface three-dimensional geologic structures. *Geophysics*, 48(3), 361-366, <https://doi.org/10.1190/1.1441474>
- [108] Töpfer, K.D., (1977). Improved technique for rapid interpretation of gravity anomalies caused by two-dimensional sedimentary basins. *Journal of Geophysics*, 43, 645-654 (in Švancara, J., 1983. Approximate method for direct interpretation of gravity anomalies caused by surface three-dimensional geologic structures. *Geophysics*, 48(3), 361-366, <https://doi.org/10.1190/1.1441474>)
- [109] Festa, A., Pini, G.A., Dilek, Y. and Codegone, G., (2010). Mélanges and mélange-forming processes: a historical overview and new concepts. *International Geology Review*, 52(10-12), 1040-1105
- [110] Özdemir, A., Palabıyık, Y., (2020). Petrol ve doğalgaz kaynak kayası, ofiyolitler, manto sorgucu ve toplu yokolma arasındaki ilişkilere göre Türkiye'nin petrol ve doğalgaz potansiyeli. 4. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi, 28-30 Eylül 2020, 428-440
- [111] Özdemir, A. ve Palabıyık, Y., (2020). Türkiye'nin Paleozoyik - Miyosen jeolojik zaman aralığındaki petrol ve doğalgaz kaynak kaya varlığının paleocoğrafik ve paleotektonik veriler ışığında kapsamlı bir değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20, 120-146
- [112] Beccalotto, L., (2003). Geology, correlations, and geodynamic evolution of the Biga Peninsula (NW Turkey). Université de Lausanne, PhD Thesis, 140 p.
- [113] Yiğit, O., (2009). Mineral deposits of Turkey in relation to Tethyan Metallogeny: Implications for future mineral exploration. *Economic Geology*, 104, 19-51
- [114] İnan, A., (1982). Azerbaycan'ın çamur volkanları. *Yeryuvarı ve İnsan*, 7(1), 4-5
- [115] Guliev, I.S., Mamedov, P.Z., Feyzullayev, A.A., Huseynov, D.A. Kadirov, F.A., Aliyeva, E.H.-M. and Tagiyev, M.F., 2003. Hydrocarbon Systems of the South Caspian Basin. Baku, Nafta-Press, 206 p.
- [116] Guliev, I.S. and Feizullayev, A.A., (1996). Geochemistry of hydrocarbon seepages in Azerbaijan. in D. Schumacher and M. A. Abrams, eds., Hydrocarbon migration and its near-surface expression: AAPG Memoir 66, 63-70
- [117] López-Rodríguez, C., Stadnitskaia, A., De Lange, G.J., Martínez-Ruiz, F., Comas, M., and Sinninghe Damsté, J.S., (2014). Origin of lipid biomarkers in mud volcanoes from the Alboran Sea, western Mediterranean. *Biogeosciences*, 11, 3187-3204
- [118] Mazzini, A. and Etiope, G., (2017). Mud volcanism: An updated review. *Earth-Science Reviews*, *Earth-Science Reviews*, 168, 81-112

- [119] Mazzini, M., Svensen, H., Planke, S., Guliyev, I., Akhmanov, G.G., Fallik, T. and Banks, D., (2009). When mud volcanoes sleep: Insight from seep geochemistry at the Dashgil mud volcano, Azerbaijan. *Marine and Petroleum Geology*, 26,1704-1715
- [120] Oppo, D., Capozzi, R., Nigarov, A. and Esenov, P., (2014). Mud volcanism and fluid geochemistry in the Cheleken Peninsula, Western Turkmenistan. *Marine and Petroleum Geology*, 57, 122-134
- [121] Oppo, D. and Capozzi, R., (2016). Spatial association of mud volcano and sandstone intrusions, Boyadag Anticline, Western Turkmenistan. *Basin Research*, 28(6), 827-839
- [122] Planke, S., Svensen, H., Hovland, M., Banks, D.A. and Jamtveit, B., (2003). Mud and fluid migration in active mud volcanoes in Azerbaijan. *Geo-Mar. Lett.* 23, 258-268
- [123] Stadnitskaia, A., Blinova, V., Ivanov, M.K., Baas, M., Hopmans, E., van Weering, T.C.E., and Sinninghe Damste, J.S., (2007). Lipid biomarkers in sediments of mud volcanoes from the Sorokin Trough, NE Black Sea: Probable source strata for the erupted material. *Organic Geochemistry*, 38, 67-83
- [124] Özdemir, A., Palabiyik, A. ve Karataş, A., (2020). Türkiye Denizlerinin Petrol ve Doğalgaz Potansiyeli, Gelecek Hidrokarbon Araştırmaları için Hedef Alanlar ve Sondaj Lokasyonları. Enerji Araştırmaları (Editör: Neşeli, S.), İksad Yayınevi, 53-123
- [125] Nakada, R., Takahashi, Y., Tsunogai, U., Zheng, G., Hiroshi Shimizu, H., and Hattori, K.H., (2011). A geochemical study on mud volcanoes in the Junggar Basin, China. *Applied Geochemistry*, 26(7), 1065-1076
- [126] Tassi, F., Bonini, M., Montegrossi, G., Capecchiacci, F., Capaccioni, B., Vaselli, O., (2012). Origin of light hydrocarbons in gases from mud volcanoes and CH₄-rich emissions. *Chemical Geology*, 294-295, 113-126
- [127] Alizadeh, A.A., Guliyev, I.S., Kadirov, F.A., and Eppelbaum, L.V., (2017). Mud Volcanism. *in Geosciences of Azerbaijan Volume I: Geology*. Springer, 215-233
- [128] Babadi, M.F., Mehrabi, B., Tassi, F., Cabassi, J., Pecchioni, E., Shakeri, A., and Vaselli, O., (2020). Geochemistry of fluids discharged from mud volcanoes in SE Caspian Sea (Gorgan Plain, Iran). *International Geology Review*, <https://doi.org/10.1080/00206814.2020.1716400>
- [129] Bonini, M., Tassi, F., Feyzullayev, A.A., Aliyev, C.S., Capecchiacci, F., and Minissale, A., (2013). Deep gases discharged from mud volcanoes of Azerbaijan: New geochemical evidence. *Marine and Petroleum Geology*, 43 450-463