



# Türkiye'nin Paleozoyik - Miyosen Jeolojik Zaman Aralığındaki Petrol ve Doğalgaz Kaynak Kaya Varlığının Paleocoğrafik ve Paleotektonik Veriler Işığında Kapsamlı Bir Değerlendirmesi

Adil Özdemir<sup>1\*</sup>, Yıldırım Palabıyık<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Adil Özdemir Danışmanlık, Ankara, ORCID ID 0000-0002-3975-2846, adilozdemir2000@yahoo.com

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul, ORCID ID 0000-0002-6452-2858, palabiyiky@itu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 23 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 8 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.756702)

**ATIF/REFERENCE:** Özdemir, A. ve Palabıyık, Y. (2020). Türkiye'nin Paleozoyik - Miyosen Jeolojik Zaman Aralığındaki Petrol ve Doğalgaz Kaynak Kaya Varlığının Paleocoğrafik ve Paleotektonik Veriler Işığında Kapsamlı Bir Değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 120-146.

## Öz

Türkiye'nin içerisinde bulunduğu Alpin Mobil Kuşağı (Tetis Bölgesi), büyük bir petrol ve doğalgaz kuşağıdır. Tip-II kerojen içeren yüksek verimli kaynak kayalar, Gondwana ile kuzey kıta grupları (Boreal) arasında Siluriyen-Holosen döneminde bir deniz yolu olan Tetis Bölgesi'nde zengin petrol ve doğalgaz rezervlerini oluşturmuştur. Bölgedeki kaynak kaya depolanması, Paleotetis ve Neotetis'in art arda açılması ve kapanması ile sürekli olarak desteklenmiştir. Türkiye, Tetis tektoniği ile kökensel olarak bağlantılı kıtaönü (foreland) ve iç havzalar ile bindirme ve kıvrım kuşakları (kapanlar) içermektedir. Bu çalışmadaki paleocoğrafik ve paleotektonik verilere göre, Türkiye'de kırıntılı kayalara (kaynak kayalar) ilave olarak geniş yayımlı karbonat kayalar (kaynak ve rezervuar kaya) ve evaporitler (keçeler) bulunmaktadır. Sunulan paleocoğrafik ve paleotektonik veriler ve yorumları, Türkiye'nin Paleozoyik-Miyosen aralığında oluşmuş zengin bir petrol kaynak kaya varlığına sahip olduğunu göstermektedir. Ordovisiyen-Siluriyen, Devoniyen-Karbonifer, Permian-Triyas, Jura-Kretase, Paleosen ve Oligosen-Miyosen kaynak kaya oluşumu açısından önemli jeolojik dönemlerdir.

**Anahtar Kelimeler:** kaynak kaya, paleocoğrafya, paleotektonik, Türkiye'nin petrol ve doğalgaz potansiyeli, petrol ve doğalgaz arama, Türkiye jeolojisi, Türkiye'nin jeolojik evrimi

## A Comprehensive Evaluation of the Oil and Gas Source Rocks' Presence in Turkey in the Light of Paleotectonic and Paleogeographic Data through Paleozoic - Miocene Geological Time Interval

### Abstract

Alpine Mobile Belt (Tethyan Region) is a huge oil and gas belt in which Turkey is located. Type-II kerogen-containing high-yield source rocks formed prosperous oil and gas reserves in the Tethyan Region, a marine route between the Gondwana and the northern continental groups (Boreal) during the Silurian-Holocene period. The source rock deposition in the region was continuously being supported by the successive opening and closing of Paleotethys and Neotethys. Turkey contains foreland and intermontane basins, and thrust-fold belts (traps) which are originally connected with the Tethyan tectonics. According to the paleogeographic and the paleotectonic data in this study, there are widespread carbonate rocks (source and reservoir rocks) and evaporites (seals) as well as clastic rocks (source rocks) in Turkey. The presented paleogeographic and paleotectonic data and their interpretations show that Turkey has prosperous petroleum source rocks that were formed in the Paleozoic-Miocene interval. Ordovician-Silurian, Devonian-Carboniferous, Permian-Triassic, Jurassic-Cretaceous, Paleocene, and Oligocene-Miocene are the important geological periods in terms of source rock occurrence.

**Keywords:** source rock, paleogeography, paleotectonics, oil and gas potential of Turkey, oil and gas exploration, geology of Turkey, geology evolution of Turkey

\* Sorumlu Yazar: Adil Özdemir, Ankara, Türkiye, ORCID ID: 0000-0002-3975-2846, [adilozdemir2000@yahoo.com](mailto:adilozdemir2000@yahoo.com)

## 1. Giriş

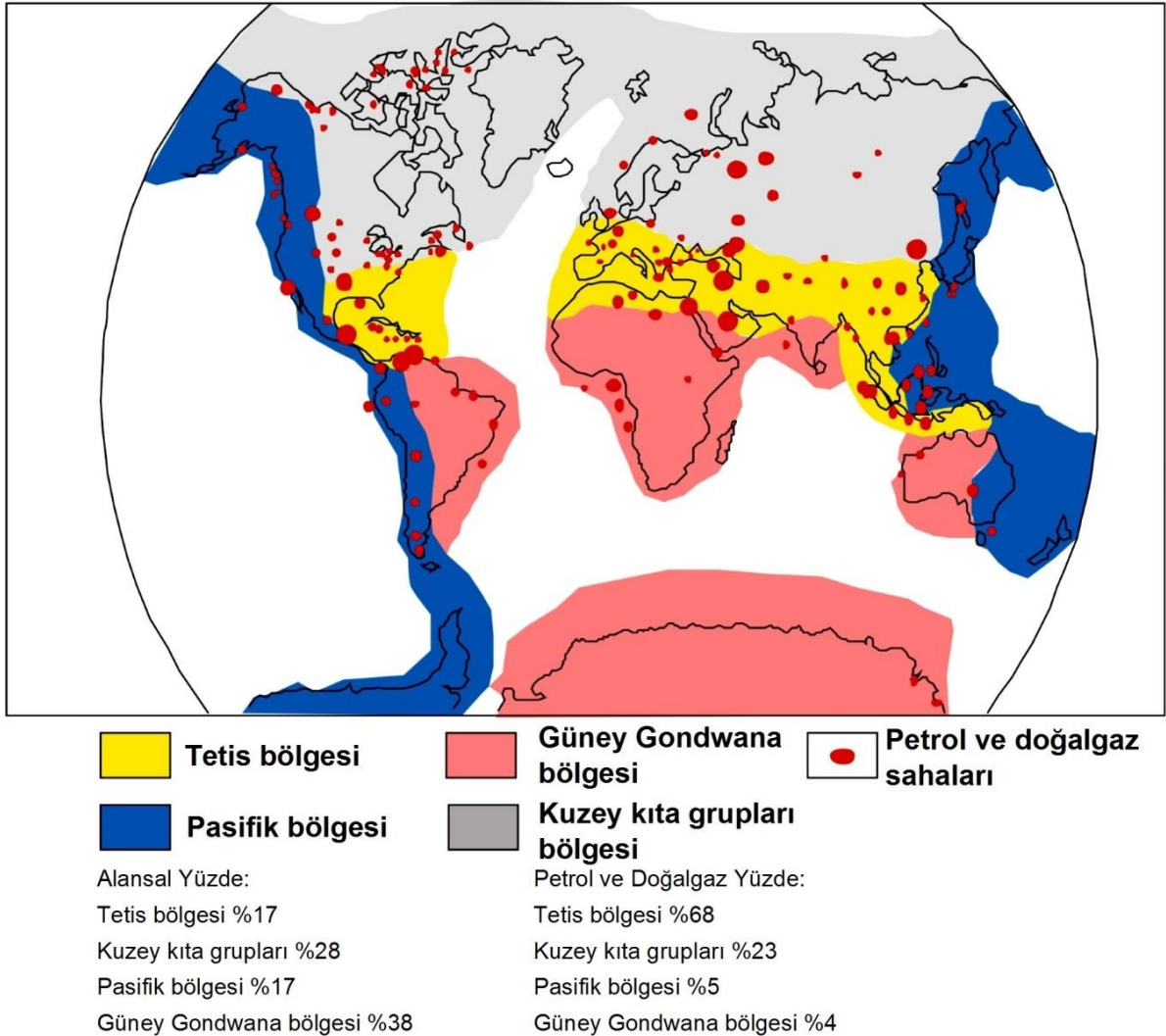
Türkiye'nin içerisinde bulunduğu Alpin orojenez kuşağı (Tetis bölgesi), büyük bir petrol ve doğalgaz kuşağıdır (Şekil 1). Tetis bölgesi, Meksika körfezi kıyısı ve Güney Amerika'dan Güneydoğu Çin ve Çin Denizi'nin güneyine kadar olan alanı kapsayan bölgedir. Kuzey Afrika'daki Sirte Havzası, Kuzey Amerika Meksika Körfezi Kıyı Havzası (Gulf Coast), Venezuela'nın Maracaibo, Doğu Venezuela ve Magdalena havzaları ve Ortadoğu'daki İran Kıyı-Zagros Havzası Kretase yaşlı kaynak kayaları ile ilişkili bu bölgedeki ana petrolü havzalarıdır (Yang ve diğ., 2014). Tip-II kerojen içeren yüksek verimli kaynak kayalar, Gondwana ile kuzey kıta grupları (Boreal) arasında Siluriyen - Holosen döneminde bir deniz yolu olan Tetis bölgesinde zengin petrol ve doğalgaz rezervleri oluşturmuştur. Kaynak kaya depolanması, Prototetis, Paleotetis ve Neotetis'in ardarda açılması ve çarpışarak kapanmaları ile sürekli olarak desteklenmiştir. Bölge, Tetis tektoniği ile kökensel olarak bağlantılı karaönü (foreland) havzaları içerir. Bölgede kırıntılı kayalara ilave olarak geniş yayımlı karbonat rezervuarları ve evaporit geçeleri bulunmaktadır. Ayrıca, sil içeren havzaların oluşumu için uygun rift/graben yapılarının gelişimini de sağlamıştır (Sorkhabi, 2010).

Tetis havzaları, dünya karalarının ve kıtasal şelflerinin beşte birinden daha az bir alanını kaplarken, dünya petrol ve doğalgaz

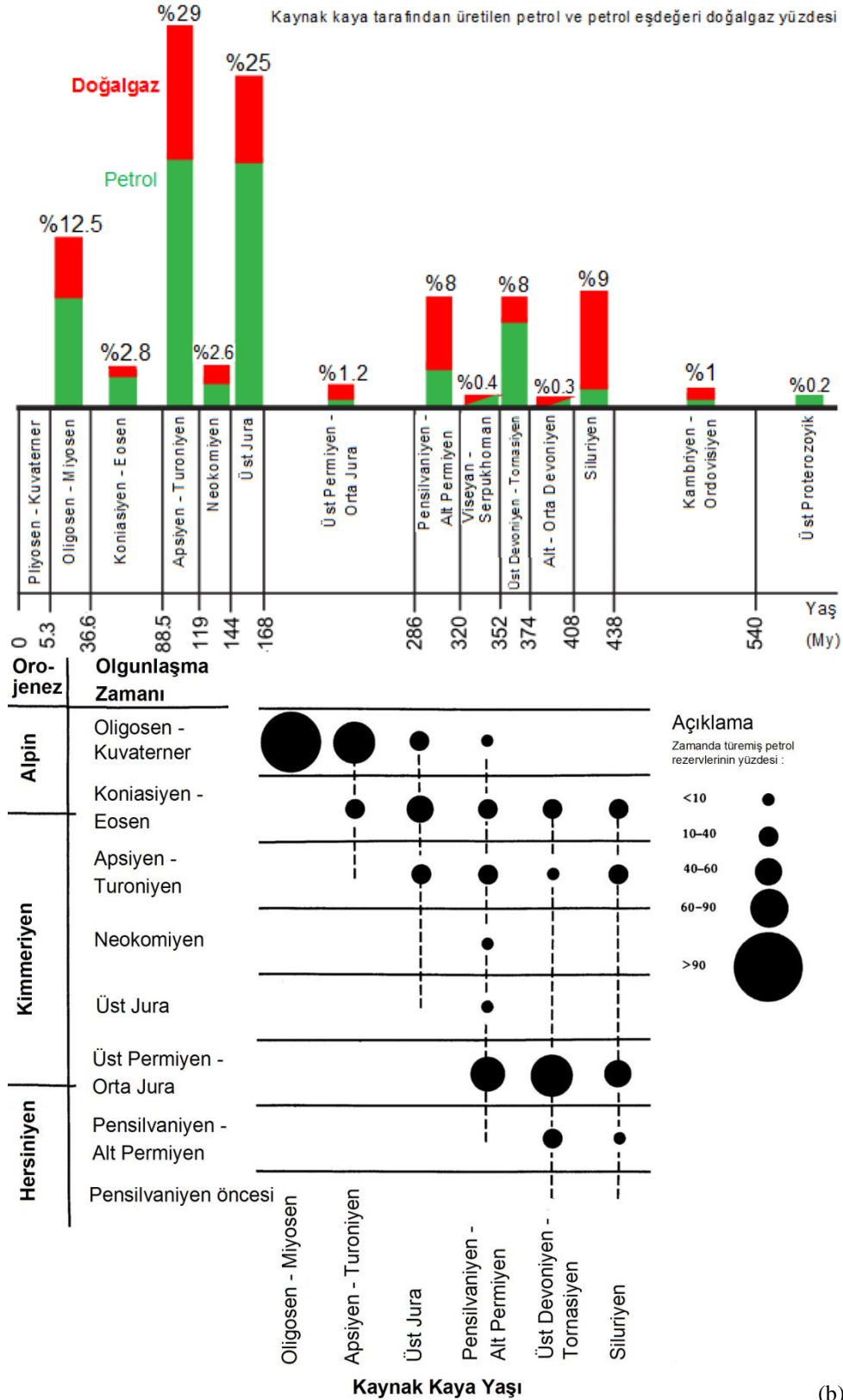
rezervlerinin üçte ikisinden fazlasını içermektedir (Klemme ve Ulmishek, 1991). Dünyadaki bilinen petrol ve doğalgaz rezervlerinin % 90'ından fazlası, 6 jeolojik zamanda oluşmuş kaynak kayalar tarafından türetilmiştir (Şekil 2) (Klemme ve Ulmishek, 1991):

1. Siluriyen (bilinen hidrokarbon rezervlerinin % 9'u),
2. Üst Devoniyen Alt Karbonifer (Turnasiyen) (bilinen hidrokarbon rezervlerinin % 8'i),
3. Üst Karbonifer (Pensilvaniyen) - Alt Permiyen (bilinen hidrokarbon rezervlerinin % 8'i),
4. Üst Jura (bilinen hidrokarbon rezervlerinin % 25'i),
5. Orta Kretase (bilinen hidrokarbon rezervlerinin % 29'u),
6. Oligosen-Miyosen (bilinen hidrokarbon rezervlerinin % 12.5'i).

Kaynak kayaların olgunlaşma hızı, birikme hızları ile benzer şekilde jeolojik zaman içinde oldukça farklıdır. Paleozoyik kaynak kayalarının ana olgunlaşma evresi, Hersiniyen orojenezi ve kalın molas yayılımı ile ilişkilidir. Bir sonraki ana olgunlaşma evresi, Alpin orojenezi ve bu çağın kalın kırıntılı sediman birikimi ile ilişkili olarak Üst Kretase ve Senozoyik dönemidir (Şekil 2) (Klemme ve Ulmishek, 1991).



Şekil 1. Dünyanın petrol ve doğalgaz bölgeleri sınıflaması (Yang ve diğ., 2014; Klemme ve Ulmishek, 1991).



Şekil 2. a) Dünyadaki petrol ve doğal gaz türeten verimli kaynak kayalarının stratigrafik dağılımı ve bu kaynak kayaların toplam türettikleri hidrokarbon yüzdeleri. b) Dünyadaki petrol ve doğal gaz türeten verimli kaynak kayalarının yaşları ve olgunlaşma zamanları (Klemme ve Ulmshiek, 1991; Ulmshiek ve Klemme, 1990).

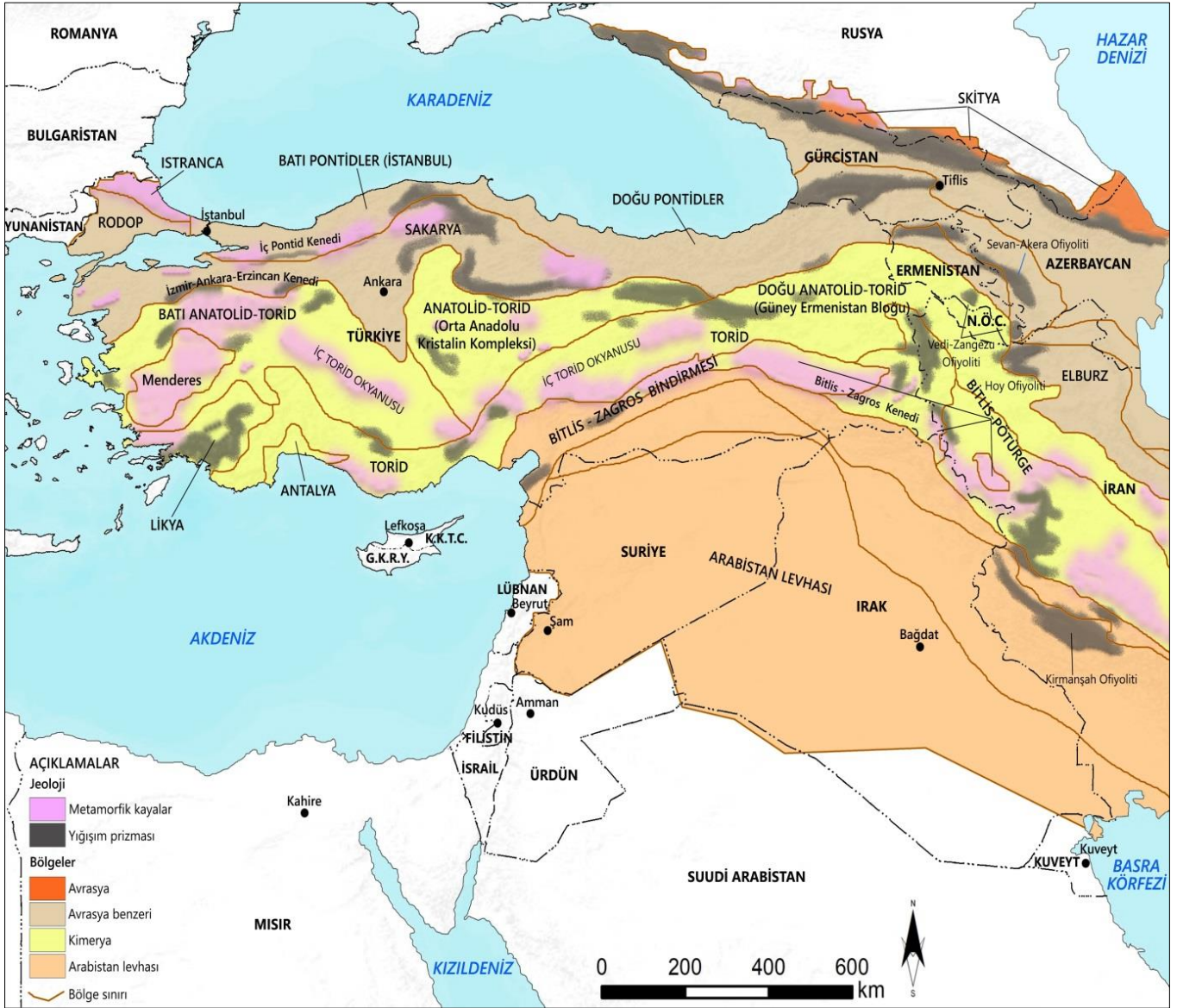
## 2. Türkiye'nin Paleocoğrafik ve Paleotektonik Evrimi

Tetis okyanusu, Paleozoyik - Alt Tersiyer süresince Gondwana (Afrika Levhası + Arap Platformu) ve Lavrasya

(Avrasya Levhası) arasında batı-doğu yönünde uzanan eski bir okyanustur. Avrasya aktif kıta kenarı ve Arabistan pasif kıta kenarı, batı ve güney Asya'nın Tetis bölgesinin jeolojik evriminde önemli bir rol oynamıştır (Zürcher ve diğ., 2015). Türkiye orojeni, Akdeniz ve Asya Tetis sistemleri arasında bir bağ oluşturmaktadır. Anadolu'daki orojenik dağ kuşakları,

tekrarlanan çarpışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu çarpışmalar, Lavrasya ve Gondwana adlı iki eski kıtanın bugünkü eski dünya karalar topluluğunu oluşturan parçalarının birbirlerine kaynamalarına neden olmuştur (Şekil 3) (Okay, 2008). Kıta parçaları, güneydeki Gondwana'dan Permiyen döneminden itibaren ayrılmaya başlamış, ayrılan bu kıta parçaları Tetis okyanusu boyunca kuzeye doğru sürüklenerek,

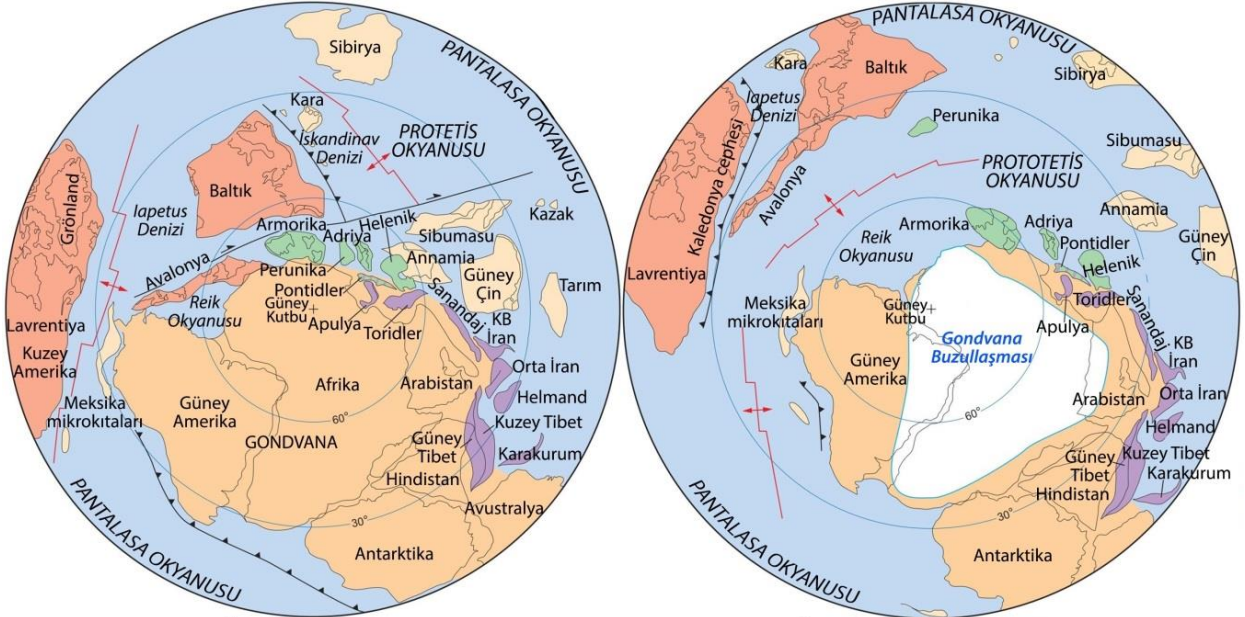
Üst Mesozoyik ve Senozoyik dönemlerinde kuzeydeki Lavrasya ile birleşmişlerdir (Şekil 4 - 7). Bölgenin karmaşık tektonik çerçevesinin anlaşılmasında önemli ilerlemeler kaydedilmesine karşın batı ve güney Asya Tetis bölgesinin jeodinamik evriminin birçok unsuru tartışma konusu olmaya devam etmektedir (Zürcher ve diğ., 2015).



Şekil 3. Türkiye'nin tectonostratigrafik bölümleri (Zürcher ve diğ., 2015'den).

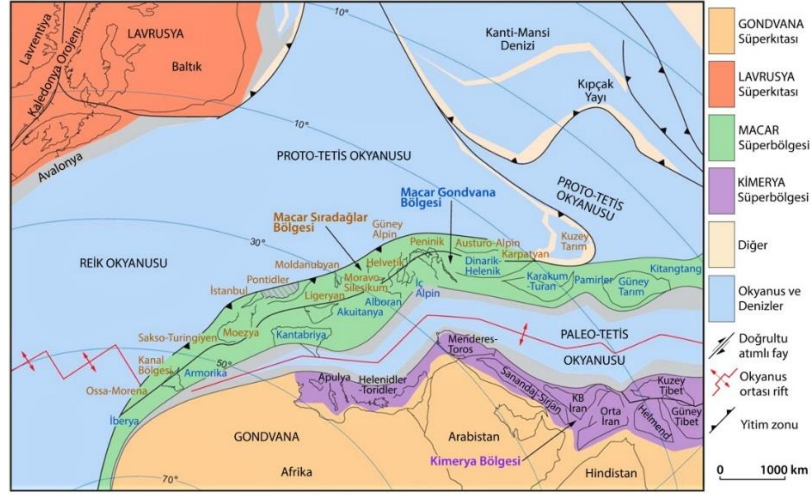
- Dünyanın paleocoğrafyası ve paleotektoniği (Türkiye kara ve deniz alanları dahil); Klemme ve Ulmişek (1991) ve Ulmişek ve Klemme (1990),
- Anadolu Mikrokıtası Erken Paleozoyik evrimi; Tolluğlu ve Sümer (1995),
- Türkiye'nin Paleozoyik öncesi ve günümüz paleocoğrafik, paleoortamsal ve genel litofasiyes özellikleri; Brikman (1976),
- Cambriyen - Triyas paleocoğrafik ve paleotektonik evrimi; Ruban ve diğ. (2007),
- Triyas - Kuvaterner paleocoğrafik ve paleotektonik evrimi; Zürcher ve diğ. (2015),

- Triyas - Kuvaterner dönemlerinin paleocoğrafik, paleoortamsal ve genel litofasiyes özellikleri; Golonka (2004),
- Üst Permiyen - Eosen paleocoğrafik ve paleotektonik evrimi; Moix ve diğ. (2008),
- Orta Eosen - Kuvaterner paleocoğrafik ve paleotektonik evrimi; Meulenkamp ve Sissingh (2003),
- Türkiye'nin Fanerozoik paleotektoniği; Şengör ve diğ. (2019),
- Güneydoğu Anadolu Havzası'nın paleocoğrafyası; Perinçek ve diğ. (1992) ve Utmanoğulları (2012), otokton ve allohton birimlerinin stratigrafik adlanması; Yılmaz ve Duran (1997) tarafından incelenmiştir.

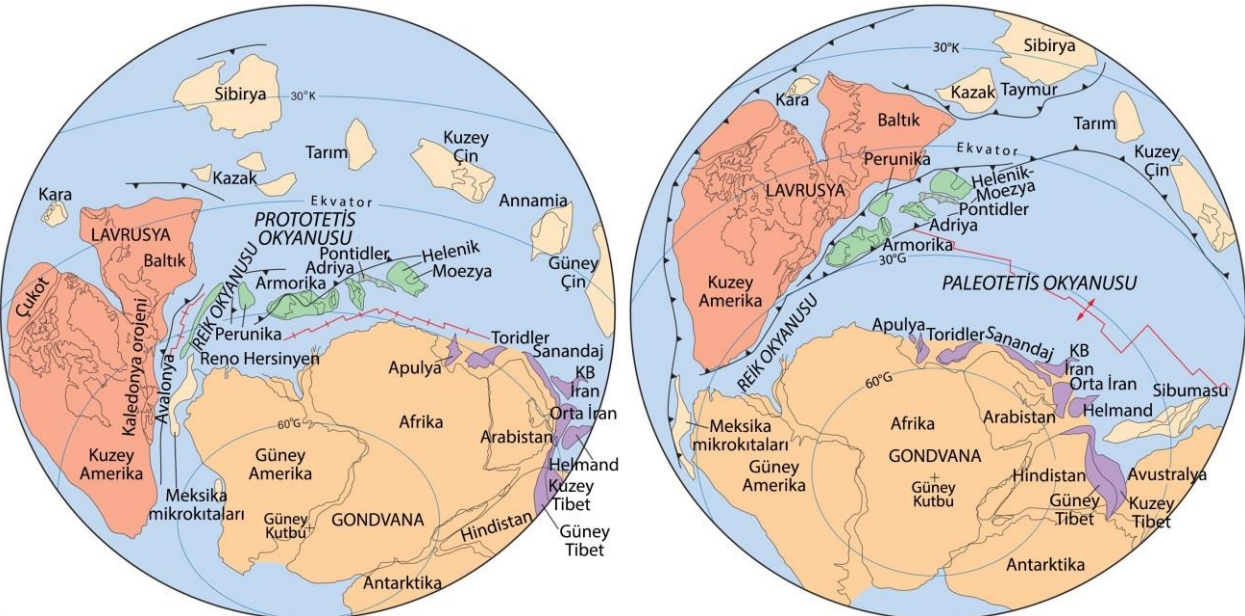


Üst Cambriyen  
(500 Milyon Yıl)

Üst Ordovisiyen - Alt Siluriyen  
(440 milyon yıl)



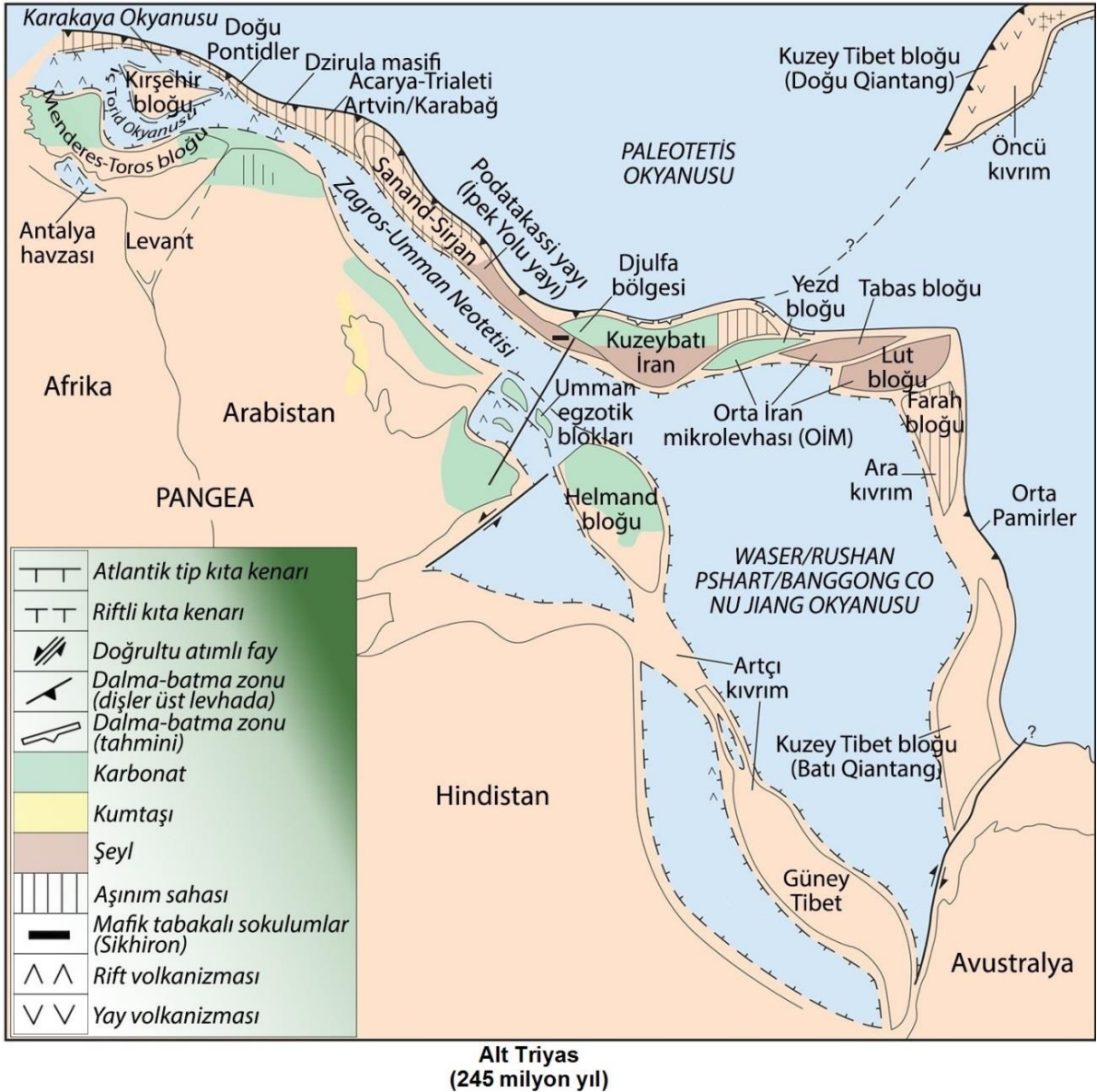
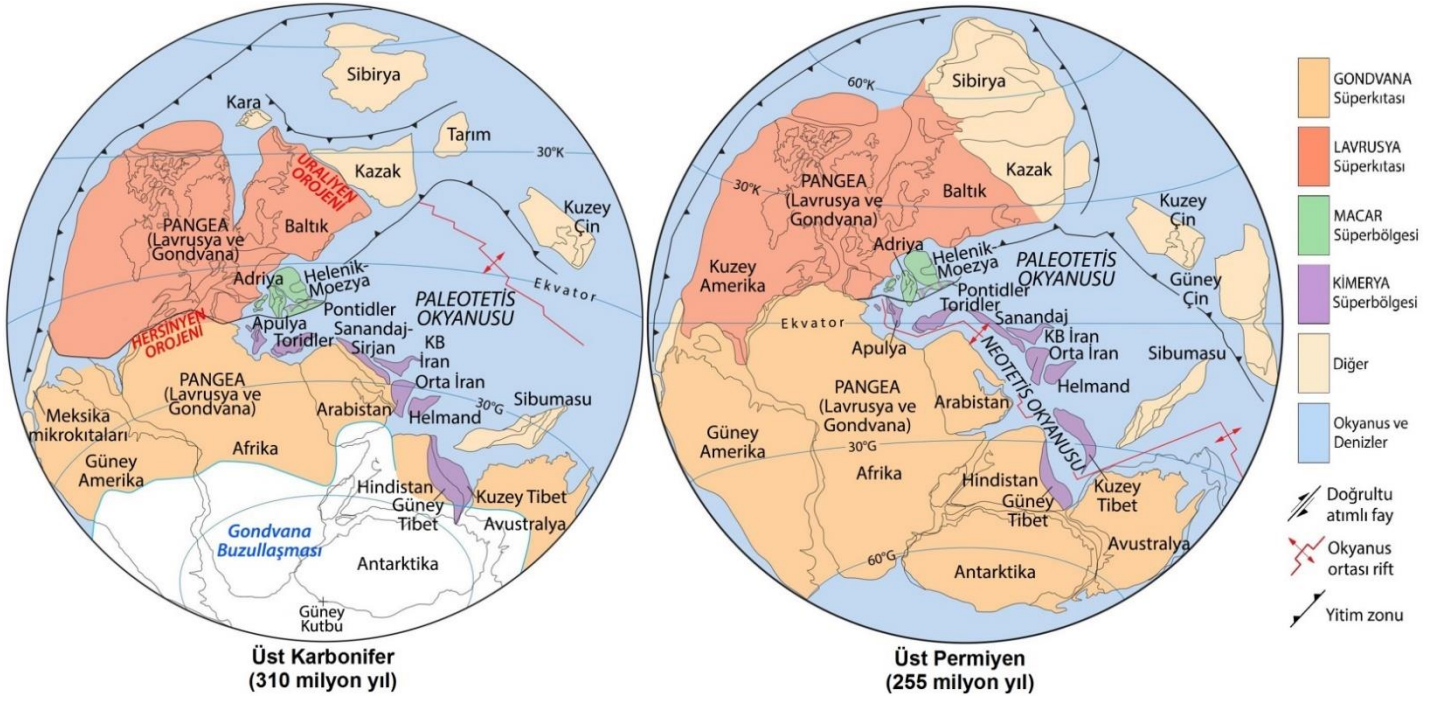
Üst Siluriyen  
(420 milyon yıl)



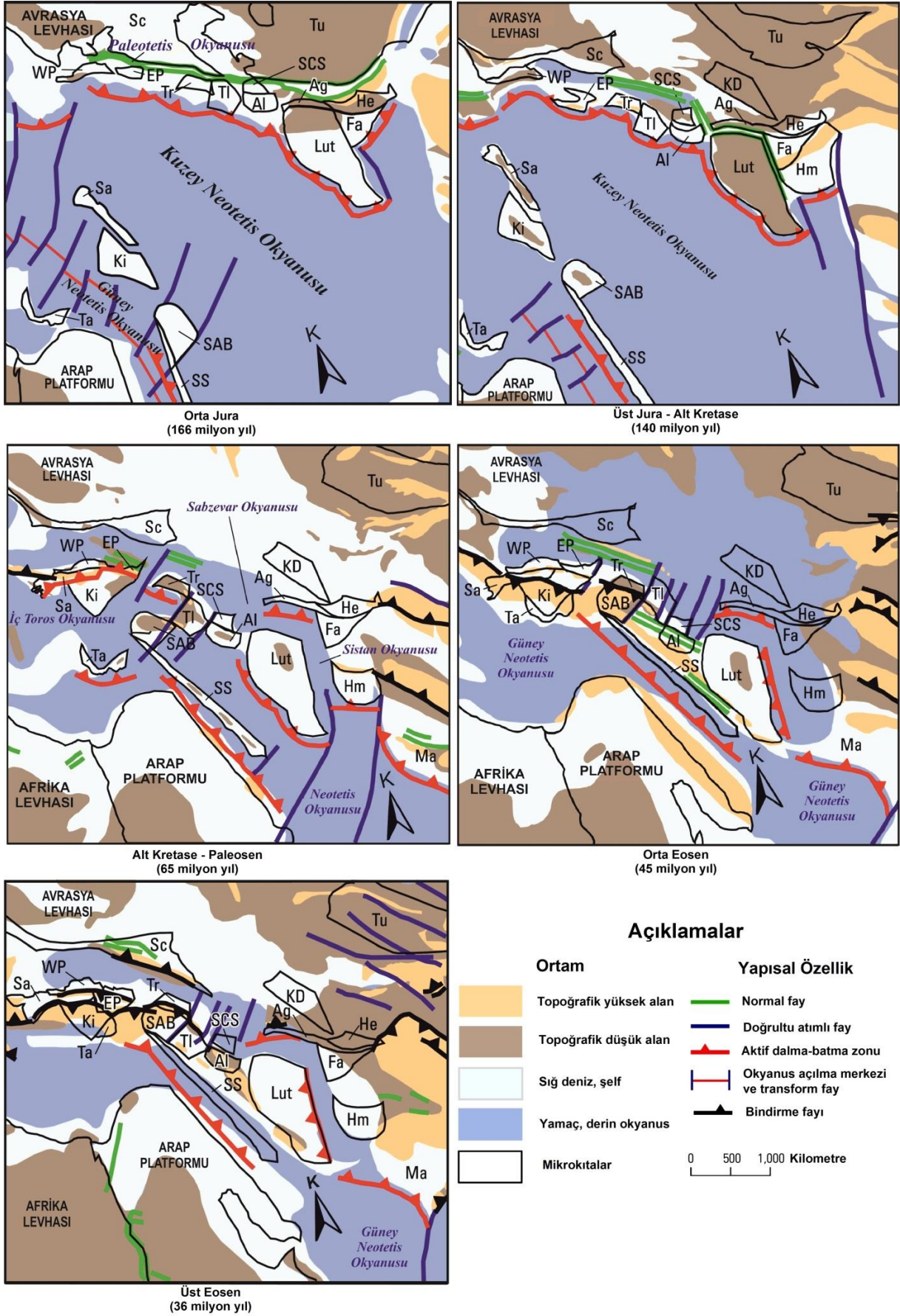
Alt Devoniyen  
(400 milyon yıl)

Alt Karbonifer  
(340 milyon yıl)

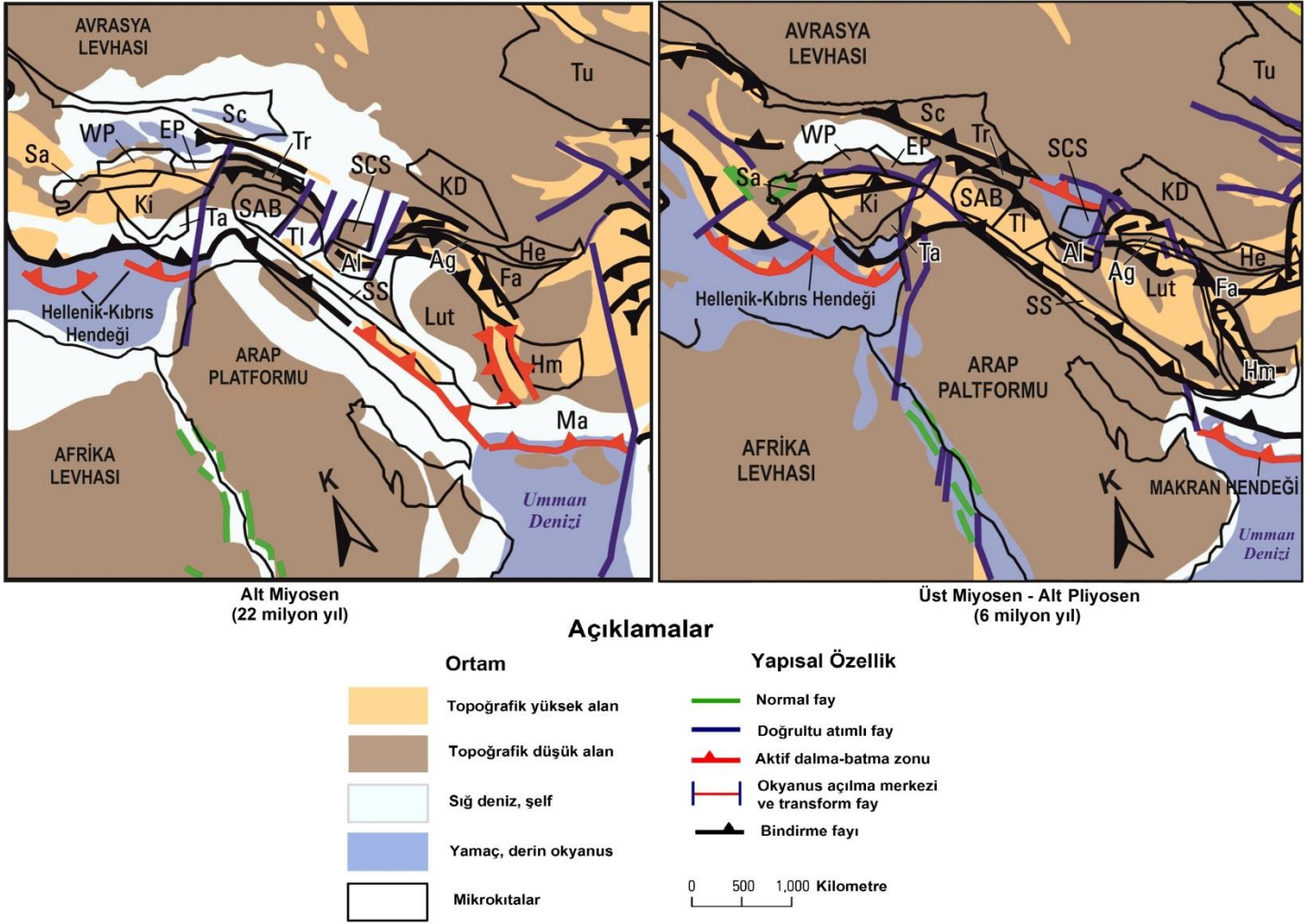
Şekil 4. Türkiye'nin Üst Cambriyen-Alt Karbonifer paleocoğrafyası (Ruban ve diğ., 2007'den).



Şekil 5. Türkiye'nin Üst Karbonifer-Alt Triyas paleocoğrafyası (Ruban ve diğ., 2007'den).



Şekil 6. Türkiye'nin Orta Jura - Üst Eosen jeolojik evrimi. Mikrokıtalar; Ag: Güney Kopet Dağ (Aghdarband), Al: Alborz, EP: Doğu Pontidler (Doğu Sakarya), Fa: Farah, He: Herat, Hm: Helmand - Arghandab, KD: Kopet Dağ, Ki: Orta Anadolu Kristalen Kompleksi (Kırşehir), Lut: Doğu - Orta İran (Lut, Tabas, Kashmar - Kerman, Yazd), Ma: Makran, SAB: Doğu Anadolu - Torid (Güney Ermeni Bloğu), Sa: Sakarya (Batı Sakarya), Sc: Sikitya, SCS: Güney Hazar Denizi, SS: Sanandaj - Sirjan, Ta: Toros (Bitlis - Pötürge dahil), Tl: Taliş, Tr: Transkaftkas, Tu: Turan ve WP: Batı Pontidler (İstanbul, İstranca) (Zürcher ve diğ., 2015'den).



Şekil 7. Türkiye'nin Alt Miyosen - Alt Pliyosen jeolojik evrimi. Mikrokitalar; Ag: Güney Kopet Dağ (Aghdarband), Al: Alborz, EP: Doğu Pontidler (Doğu Sakarya), Fa: Farah, He: Herat, Hm: Helmand - Arghandab, KD: Kopet Dağ, Ki: Orta Anadolu Kristalen Kompleksi (Kırşehir), Lut: Doğu - Orta İran (Lut, Tabas, Kashmar - Kerman, Yazd), Ma: Makran, SAB: Doğu Anadolu - Torid (Güney Ermeni Bloğu), Sa: Sakarya (Batı Sakarya), Sc: Sikiya, SCS: Güney Hazar Denizi, SS: Sanandaj - Sirjan, Ta: Toros (Bitlis - Pötürge dahil), Tl: Taliş, Tr: Transkaftas, Tu: Turan ve WP: Batı Pontidler (İstanbul, Istanca) (Zürcher ve diğ., 2015'den).

Bugünkü Türkiye'nin Avrasya kıta kenarı, Avrasya benzeri İstanbul (Batı Pontid), Doğu Pontid ve Sakarya karalarından oluşmaktadır (Şekil 3). Avrasya benzeri bu karalar, Avrasya ile Paleozoyik dönemde birleşmiştir. Avrasya'dan Üst Karbonifer - Orta Triyas döneminde ayrılmış ve Üst Triyas - Erken Jura döneminde Kimmeriyen orojenezi ile tekrar çarpışmışlardır. Sakarya karasının çarpışması ile bölgenin batısında, Gondwana türevi karaların çarpışması ile Kimmeriyen orojenezi sonlanmıştır. Paleotetis okyanusu, bu çarpışma olayları ile Orta Jura'da kapanmıştır. Permien - Orta Jura döneminde, güneyde Neotetis okyanusunun açılması, kuzeydeki Paleotetis okyanusunun tüketilmesi ile eşzamanlı olarak gerçekleşmiştir. Üst Permien'de, mikrokitaların Gondwana'dan riftleşme ile ayrılması sonucunda Neotetis okyanusu açılmaya başlamıştır (Şekil 5). Kimmeriya olarak bilinen Gondwana türevi bu karalar, batıdan doğuya (1) Anadolu - Torid (Menderes, Orta Anadolu Kristalin Karmaşığı, Güney Ermeni Bloğu ve Bitlis-Pötürge karalarından oluşur); (2) Sanandaj - Sirjan karası'dır. Bu kıtalar hareket halindeyken, Kimmeriyen kıtasının kuzey kısmında Neotetis'in kuzey kolu ve güney kısmında da Neotetis'in güney kolu oluşmuştur. İzmir - Ankara - Erzincan keneti, Neotetis

okyanusunun kuzey kolunun, Bitlis - Zagros kenedi de güney kolunun eski konumunu belirtmektedir. Sakarya kıtası, Avrasya'nın bir parçasıdır. Sakarya ve İstanbul kıtaları, Türkiye'nin kuzeybatısındaki de İntra-Pontid kenedi boyunca bir araya gelmiştir ve Paleotetis'in, eski konumunu belirtmektedirler. Paleotetis okyanusu bu bölgede, Orta - Üst Jura'da kapanmıştır. Üst Triyas - Alt Jura Kimmeriyen çarpışma olaylarını takiben, Pontidler ve Sakarya kıtalarının birleşmesiyle oluşan yeni Avrasya kıta kenarı boyunca Neotetis okyanusunun kuzey kolunda, kuzeye eğimli dalma-batma zonları gelişmiştir. Bu sıkışma olayı sonucunda, bu alanların kuzeyinde bir kalkalkalin kıta yayı ve geniş yayımlı kalkalakin - alkalın yaygerisi rift havzaları oluşmuştur. Bu yaygerisi havzalar, Paleotetis kenedi boyunca gelişmiştir. Türkiye birçok Alpin ve Alpin öncesi tektonik birlik içerir. Miyosen'de Afrika ve Anadolu plakalarının çarpışması ve çarpışma sonrası kıta içi tektonik kaçma ile ilişkili deformasyon yapıları, Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı ve Anadolu mikrolevhası oluşmuştur. Bugün, bir dizi aktif, kıta içi sağ ve sol yönlü doğrultu altımlı faylar ve bunlarla ilişkili çek ayır havzalar baskındır (Şekil 6 ve 7) (Zürcher ve diğ., 2015).



### 3. Türkiye'nin Petrol ve Doğalgaz Kaynak Kayaları

Gondwana pasif ve Lavrasya aktif kıta kenarlarında konumlanmış olan bugünkü Türkiye kara alanlarını oluşturan mikrokıtalar, tüm Paleozoyik ve Mesozoyik dönemleri boyunca zaman zaman uzun ve geniş bir shelf üzerinde etkili olan deniz seviyesi değişimlerinin geliştiği bir sedimantasyon bölgesinin birer parçası olmuşlardır (Şekil 4 - 7). Dolayısıyla, mikroorganizmalar ve denizel organizma türleri de hızlı bir şekilde evrim geçirmiş ve çeşitlenmiş, böylece petrol ve doğalgaz oluşumu için gerekli olan organik karbonlu denizel çökellerle zenginleşmiş daha sonra da birleşmişlerdir. Gondwana'nın kuzey ve Lavrasya'nın güney kenarını dalgalarıyla yalayan Tetis Okyanusu, tek bir okyanus değildir. Prototetis (İnfrakambriyen-Karbonifer), Paleotetis (Ordovisiyen-Jura) ve Neotetis (Permien-Paleosen) olmak üzere bilinen üç okyanus havzası gelişmiştir. Tetis'in bu birbirini izleyen gelişimi, kıta parçalarının zincirleme olarak Gondwana kenarından parçalanarak uzaklaşması ve Eski Asya kıtasına eklenmek üzere kuzeye doğru sürüklenmesiyle gerçekleşmiştir (Şekil 4 - 7). Her bir Tetis okyanusunun açılması, İnfrakambriyen (Edikaran-Kambriyen geçiş periyodu)-Ordovisiyen, daha sonra Permien döneminde kıtasal riftleri meydana getiren gerilme tektoniği eşliğinde olmuştur. Bu rift havzaları, bölgedeki petrol ve doğalgaz oluşumu için uygun alanlar olarak kabul edilmektedir. Bu tektonik-sedimantasyon sistemi, Tetis bölgesine özgü biçimleri ile petrol ve doğalgaz oluşumu ve birikimi üzerinde etkili olmuştur (Sorkhabi, 2010). Organik maddece zengin kaynak kayalar, anoksik ortamlar, kıyı bölgelerine zengin besin gelişinden dolayı deniz seviyesi yükselmesinden yararlanmış, göreceli duraylı koşullarda Paleozoyik-Mesozoyik zaman aralığında pasif kıta-shelf kenarlarında çökelmiştir. Organik maddece zengin bu denizel şeyller ve marnlar Tip-I (protein/lipidçe zengin algal organik madde) ve Tip-II (lipidçe zengin ancak hidrojen-karbon oranları daha düşük) olmak üzere petrol eğilimli kerojen tiplerini içermektedir (Ulmishek ve Klemme, 1990; Klemme ve Ulmishek, 1991; Sorkhabi, 2010). Dünyanın (Türkiye kara ve deniz alanları dahil) petrol ve doğalgaz kaynak kaya tip ve oluşum koşulları, Klemme ve Ulmishek (1991) ve Ulmishek ve Klemme (1990); Türkiye'nin güneyi dahil Ortadoğu'nun kaynak kaya tip ve oluşum koşulları; Kendal ve diğ. (2014) tarafından detaylı olarak incelenmiştir. Derman (2014) ve Alsharhan ve Nairn (2003), Türkiye'nin bilinen kaynak kayaları ve petrol üretim havzalarının özelliklerini incelemişlerdir.

#### 3.1. Ordovisiyen - Siluriyen Kaynak Kayaları

Organik maddece zengin graptolitik şeyller, Siluriyen petrol sisteminin karakteristik kaynak kayalarıdır. Bu şeyllerdeki organik madde, büyük ölçüde planktonik faunadan türemiş esas olarak Tip-II kerojenden oluşur. Siluriyen yaşlı kaynak kayalardan üretilen hidrokarbonların çoğu (% 85), kaynak kayaların derin gömülme ve aşırı olgunlaşması nedeniyle doğalgazdır (Ulmishek ve Klemme, 1990). Türkiye'de petrol ve doğalgaz oluşumu için şanslı seviyelerden birisi, Kuzey Afrika ve Ortadoğu'nun diğer bazı bölgelerinde de bulunan Irak'taki Akkaş formasyonunun taban şeyli, Suriye'de Tanf formasyonunun tabanı ve Ürdün'ün Batra formasyonunun eşleniği olan organik maddece olağanüstü miktarda zenginleşmiş sedimanlardan oluşan Suudi Arabistan'da Siluriyen "kızgın/sıcak" şeyli (Qusaiba Şeyli) olarak adlandırılan,

Puşçutepe graptolitik şeylidir. Kıyıya yakın, düşük enerjili bir ortamda çökelen Puşçutepe şeyli siyah, siyahımsı gri ve kül renkli, yoğun bitümlü ve laminalı şeylli düzeylerden oluşmaktadır. Taban düzeylerinin silis oranı yüksek olup, çok iyi yapraklanmalıdır. Kurşun grisi, kül rengi silisli şeylli düzeylerin üzerine karbon oranı yüksek, siyahımsı gri renkli, yapraklanmalı çubuğumsu kırıklı şeyller ve bunun da üstüne yeşilimsi gri renkli siltli şeyl düzeyleri gelmektedir (Yılmaz, 2004). Graptolitik fosil içeriğine göre birimin yaşı Alt Siluriyen (Llandovery)'dir (Monod ve diğ., 2003). Bol graptolit fosilli şeyl (bitümlü şeyl) ile temsil edilen birimin kalınlığı 100 m civarındadır (Özgül ve Kozlu, 2002). Birim, Sarız, Tufanbeyli, Feke, Develi (Metin, 1984; Özgül ve diğ., 1973) ve Kozan'da da (Ayhan, 1988) aynı litolojilerle izlenmektedir. Ayrıca, Orta Toroslar'da Silifke, Amanoslar ve Anamur bölgesinde (Önalın, 1986; Demirtaşlı, 1967), Güneydoğu Anadolu'da (Dean ve Monod, 1990) Puşçutepe şeylinin eşleniği olarak kabul edilen birimler mostra vermektedir (Şekil 8 ve 9). Güneydoğu Anadolu Havzası'nın Ordovisiyen-Siluriyen yaşlı kanıtlanmış kaynak kayaları; Bedinan, Dadaş (Handof) ve Dadaş formasyonlarıdır.

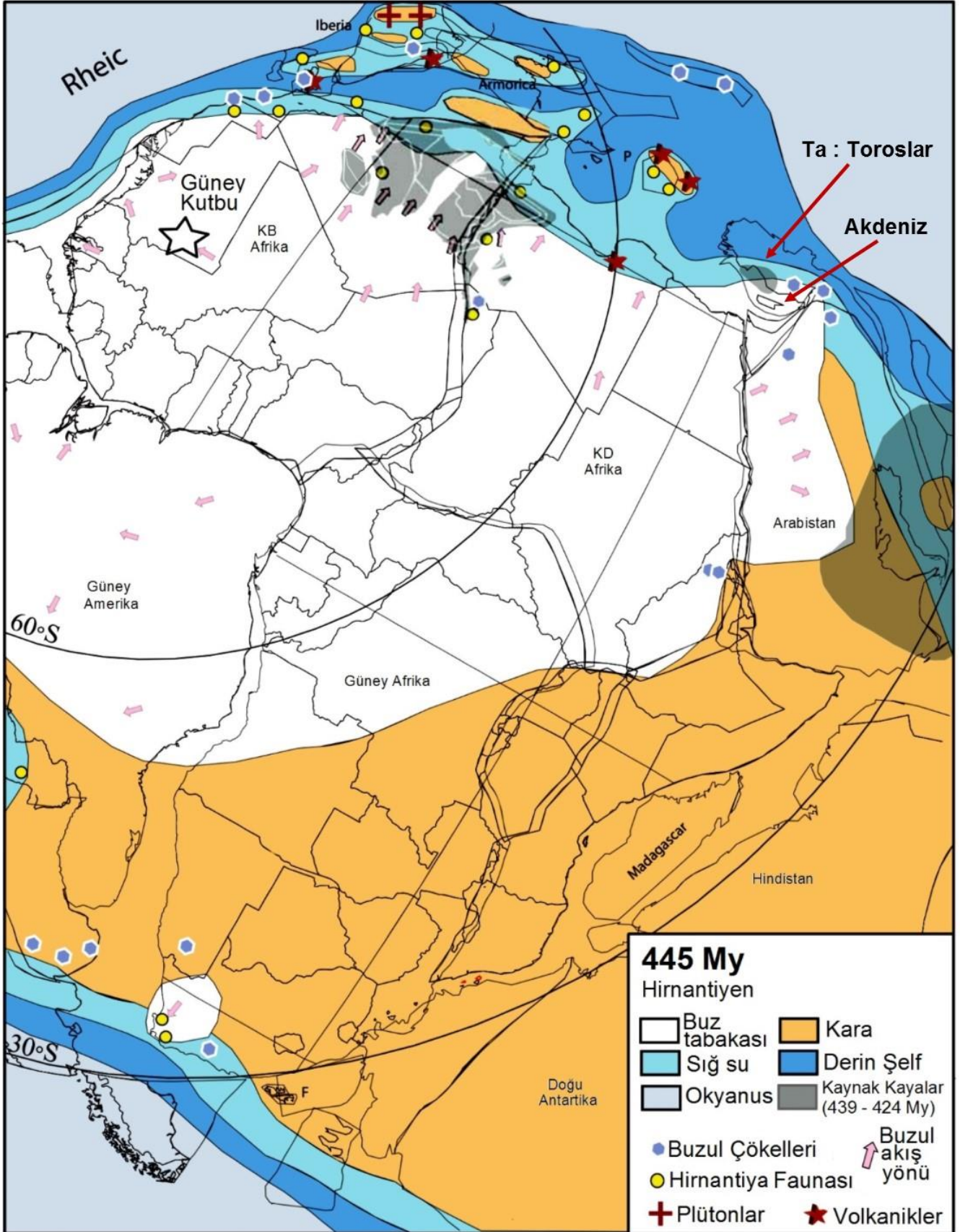
Türkiye'nin güneyinde (Toroslar ve Kenar kıvrımları) bulunan Üst Ordovisiyen - Alt Siluriyen buzullaşma istifleri (sıcak şeyller) eşleniği olan ve Afrika Kuzeyi ve Ortadoğu'daki graptolik şeyller, Luning ve diğ. (2000) tarafından önemli bir petrol ve doğalgaz kaynak kayası olarak önerilmiştir. Organik açıdan zengin 'sıcak' şeyl olarak tanımlanan Alt Siluriyen şeylleri, Kuzey Afrika'daki Paleozoyik kökenli hidrokarbonların % 80-90'ının kaynağıdır. Hem Paleozoyik hem de Triyas yaşlı rezervuarlarda bu kaynak kayadan türemiş hidrokarbonlar bulunmaktadır. Bu şeyller, Sahra Çölü'ndeki en önemli hidrokarbon kaynağıdır. Ayrıca, Siluriyen şeylleri Arap Yarımadası'nın da önemli kaynak kayalarından birisidir ve son 20 yılda keşfedilmiştir. Aynı zamanda, Amazon (ABD) ve Rusya platformu iç havzalarında da benzer bir kaynak kaya seviyesi vardır (Luning ve diğ., 2000). Dünya petrol rezervinin % 9'u organik maddece zengin bu Siluriyen şeyllerinden türemiştir (Şekil 2) (Klemme ve Ulmishek, 1991). Kendal ve diğ. (2014) ve Klemme ve Ulmishek (1990, 1991), Türkiye'nin Ordovisiyen - Siluriyen petrol ve doğalgaz kaynak kayalarının paleocoğrafik, paleotektonik, litofasiyes ve yapısal özelliklerini incelemiştir (Şekil 10 ve 11).

#### 3.2. Devoniyen - Karbonifer Kaynak Kayaları

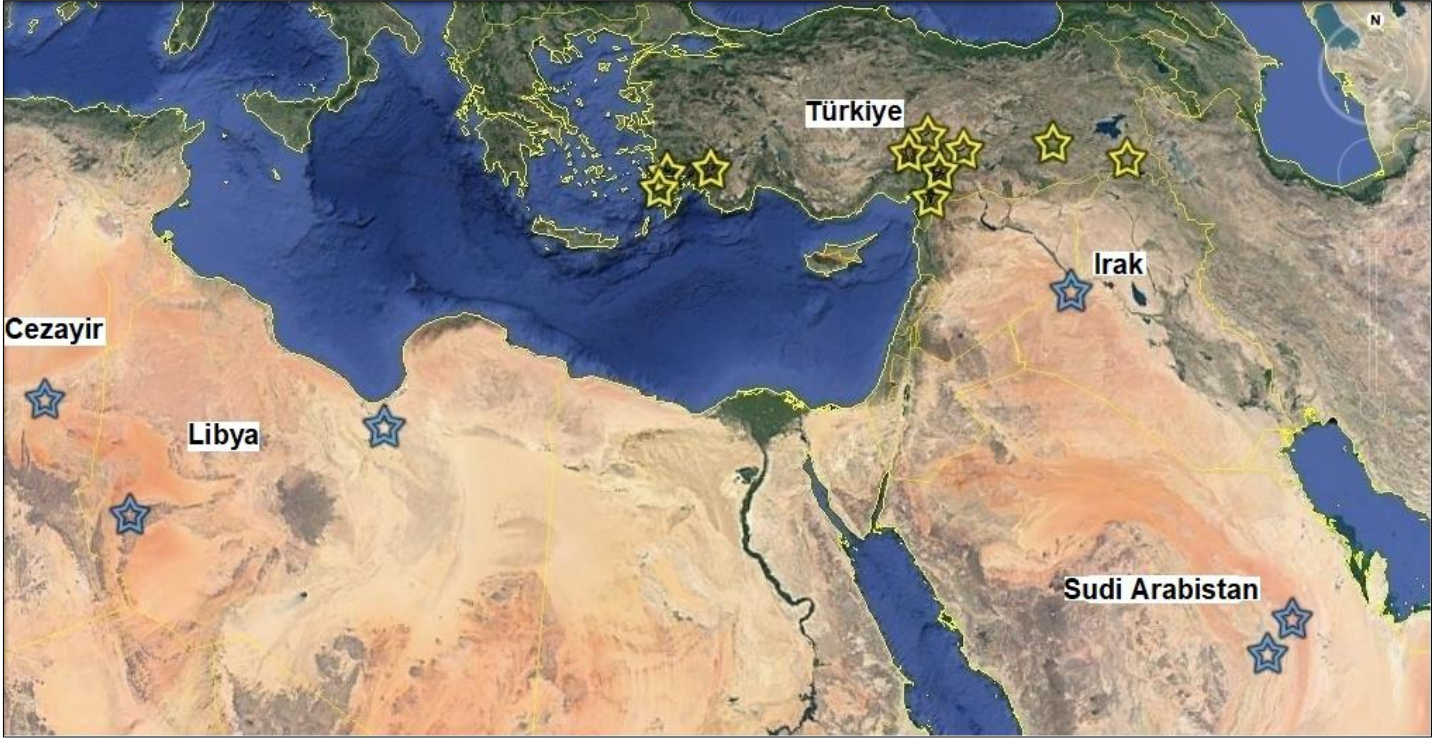
Üst Devoniyen - Alt Karbonifer (Turnasiyen) yaşlı kaynak kayalar, büyük ölçüde organik maddece zengin silisli şeyl, marn ve karbonat baskın Tip II kerojen içermektedir. Bu dönemin kaynak kayaları, genellikle siyah şeyl fasiyesidir. Yaygın olarak denizel geçiş ortamında, çoğunlukla platformlarda ve kratonik dairesel riftlerde (cratonic circular sags) birikmiştir (Ulmishek ve Klemme, 1990). Türkiye ve Irak'taki Ora ve Köprülü formasyonları, Üst Devoniyen - Alt Karbonifer (Turnasiyen) yaşlı kanıtlanmış kaynak kayalarıdır (Şekil 12 ve 13). Başka bir kanıtlanmış kaynak, Gondwanaland'ın batı kenarındaki Mississippian denizel geçiş şeylleridir (Libya'nın Marar Formasyonu). Mısır'da (Dhiffah formasyonu) ve Umman'da (Misfar Formasyonu) şeylleri, diğer benzer şeyller olarak düşünülmektedir. Sawanet'te (Suriye) karbonat kaynak kayaları mevcuttur (Kendal ve diğ., 2014). Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Ora Formasyonu (Irak) organik maddece zengin şeyl ve marn içermektedir (Alsharhan ve Nairn, 2003). Köprülü formasyonunun tipik mevkii Çukurca'nın (Hakkari) 11 km kuzeybatısındaki Köprülü (Geyman) köyüdür. Birim; Orta

Amonoslar, Beytuşşebap (Şırnak) ve Çukurca (Hakkari) dolaylarında bulunur. Sığ denizel-lagün ortamlarında çökelmiş olan birim kumtaşı bantlı şeyllerden oluşur. Yaşı, Üst

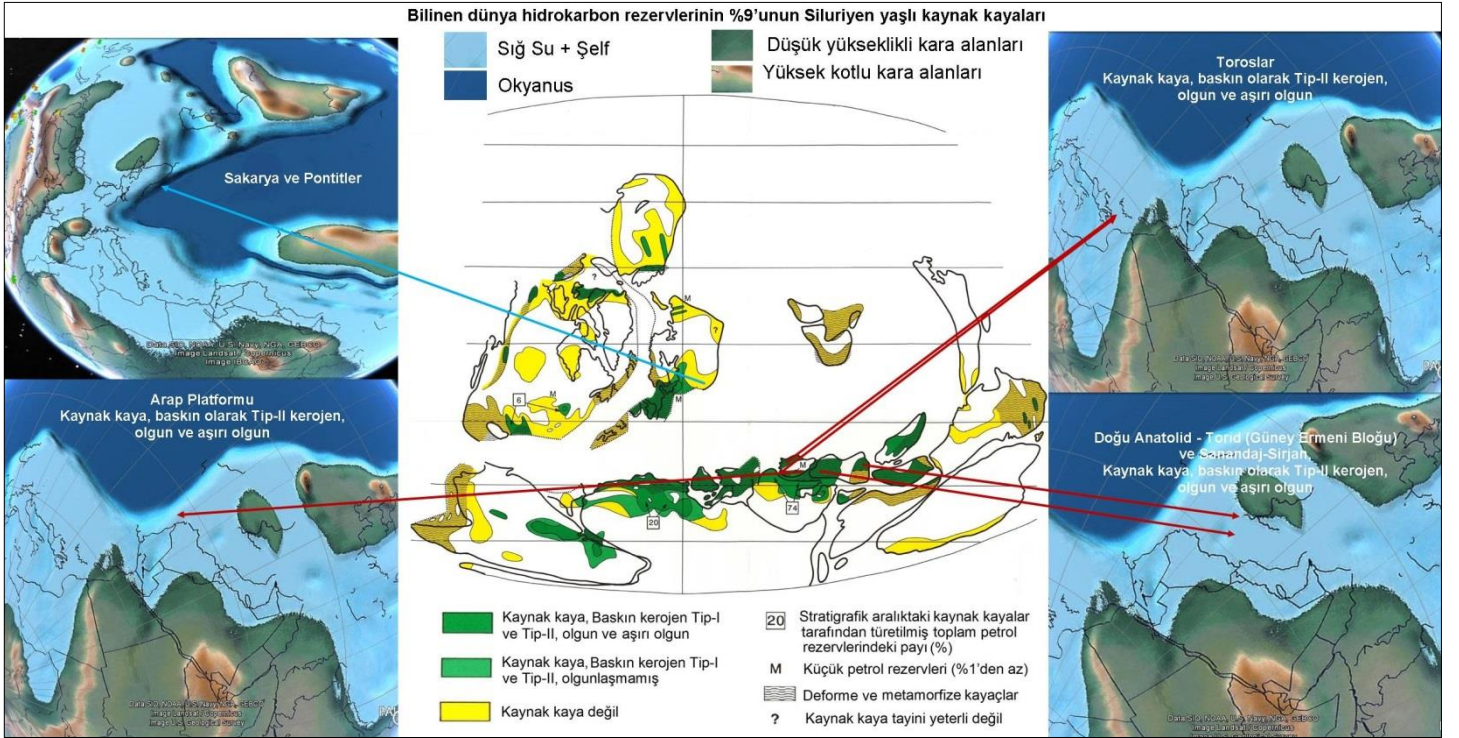
Devoniyen-Alt Karboniferdir (Yılmaz ve Duran, 1997). Devoniyen-Karbonifer birimlerinin genel stratigrafisi, Gourvenec ve Hoşgör (2012) tarafından incelenmiştir.



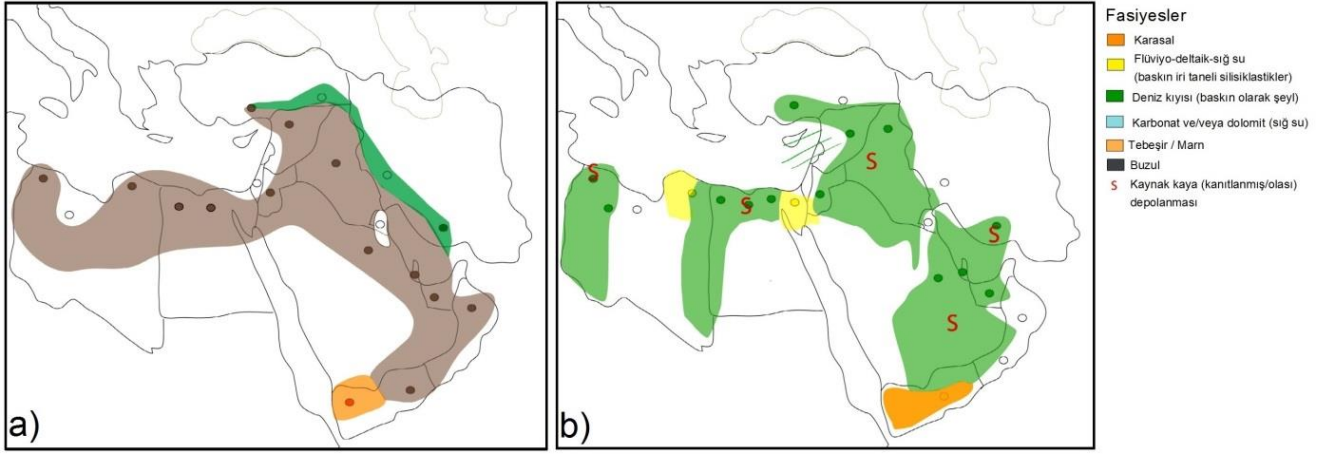
Şekil 8. Orta Gondwana bölgesinin Ordovisiyen - Siluriyen sınırı (445 Milyon yıl) paleocoğrafyası, Hirnantiyen buzullaşması ve Kuzey Afrika ve Arabistan'daki Alt Siluriyen kaynak kayaları (Torsvik ve Cocks, 2011).



Şekil 9. Orta Gondwana alanının Ordovisiyen - Siluriyen sınırı (445 My) Hirnantiyen buzlaşması ile ilişkili kaynak kayalardan türemiş hidrokarbonları içeren Kuzey Afrika ve Arabistan'daki süper dev petrol ve doğalgaz sahaları (> 1 milyar varil petrol veya petrol eşdeğeri) (mavi renkli yıldızlar; Suudi Arabistan Abu Jifan petrol ve Dilam doğalgaz sahaları; Irak Akkaş doğalgaz sahası; Libya Hateiba ve Elephant petrol sahaları; Cezayir Tin Fouye-Tabankort doğalgaz sahası) ve Türkiye'deki Ordovisiyen - Siluriyen kaynak kayalar (sarı renkli yıldızlar) (Veri: Demirtaşlı, 1967; Özgül ve diğ., 1973; Brikman, 1976; Metin, 1984; Önalın, 1986; Ayhan, 1988; Dean ve Monod, 1990; Luning ve diğ., 2000; Monod ve diğ., 2003; Yılmaz, 2004; Torsvik ve Cocks, 2011; Kendal ve diğ., 2014).



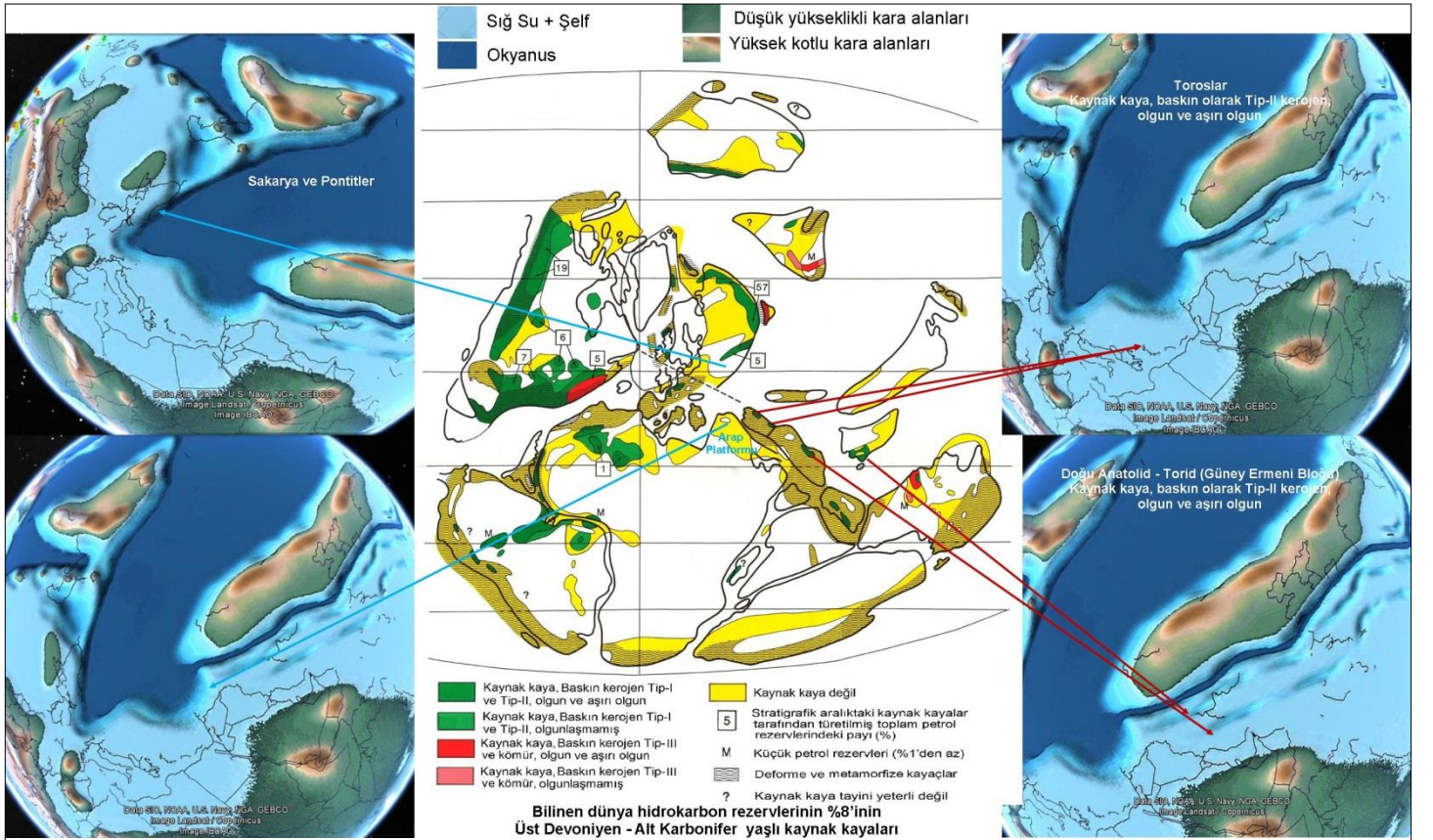
Şekil 10. Türkiye'nin Siluriyen dönemi kaynak kayaları (Kaynak kaya haritası : Ulmişek ve Klemme, 1990; Paleocoğrafya haritaları: Scotese, 2001'den). Mikroktaların adlandırılmasında, Zürcher ve diğ. (2015) çalışması esas alınmıştır.



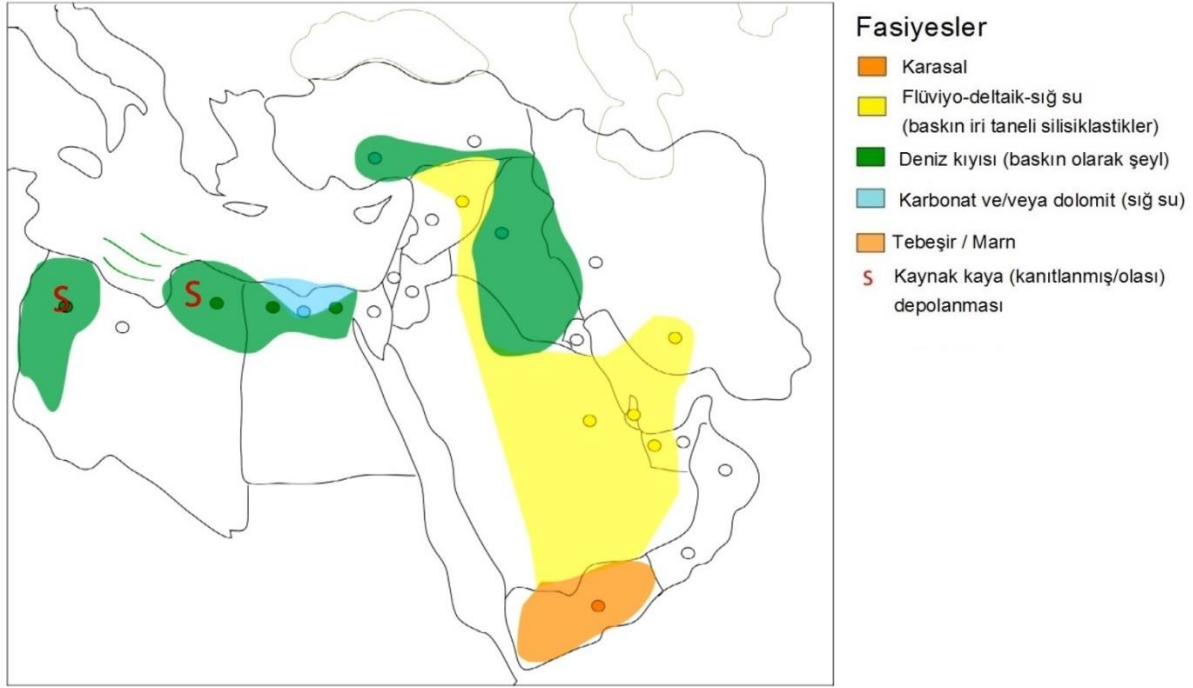
Şekil 11. Türkiye güneyinin a) Üst Ordovisiyen (~445 My), b) Alt Siluriyen (~440 My) kaynak kayaları (Kendal ve diğ., 2014'den).

Alkhafaji (2017) tarafından Doğu Toroslar'da Alt Karbonifer yaşlı kumtaşı ve killi kireçtaşları ile temsil edilen ve organik maddece zengin siyah şeylleri içeren Ziyarettepe formasyonu Ora formasyonunun eşleştiği olarak belirtilmiştir. Ay (2015)'in çalışmasında, Ziyarettepe formasyonu içinde bulunan bitümlü şeyl seviyeleri örneklerinden yapılan organik jeokimyasal ve organik petrografik analizler yardımıyla formasyonun yüksek düzeyde kaynak kaya potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. Ziyarettepe formasyonunun eşleştiği olan Ora formasyonunun dev (giant) bir doğalgaz sahası olan Akkaş Sahası'nda da benzer organik jeokimyasal özelliklere (Jassim ve Al-Gailani, 2006) sahip olduğu görülmektedir. Türkiye'de Devoniyen dönemi, 1000 metreden fazla metamorfik

olmayan hemen hemen tamamen sedimanter birimler tarafından temsil edilmektedir. Bunlar; Pontidler, Toridler ve Arap levhasının kalın Paleozoyik tortul istifleridir. Bu birimlerin, tektonik yapısı ve paleocoğrafik kökenleri farklıdır. Arap levhası ve Toroslar'ın Devoniyen istifleri, gelgit ortamından derin şelfe kadar uzanan fasiyesler tarafından temsil edilmektedir. Pontidlerdeki İstanbul ve Çamdağ-Zonguldak bölgeleri, bir havzadan sığ şelfe doğru bir dizilim ve duraylı bir şelf fasiyesi özelliğindedir. Arap levhası ve Toroslar'ın Devoniyen birimlerinin, Gondwana'ya ait birimler olduğu kesindir. Pontidlerin Devoniyen birimlerinin ise, paleocoğrafik konum olarak bir Peri-Gondwana (Avaloniyen) alanı önerisi vardır (Yalçın ve Yılmaz, 2010).



Şekil 12. Türkiye'nin Üst Devoniyen - Alt Karbonifer (Turnasiyen) dönemi kaynak kayaları (Kaynak kaya haritası: Ulmishkek ve Klemme, 1990; Paleocoğrafya haritaları: Scotese, 2001'den). Mikrokotaların adlandırılmasında, Zürcher ve diğ. (2015) çalışması esas alınmıştır.



Şekil 13. Türkiye güneyinin Alt Devoniyen (~400 My) kaynak kayaları (Kendal ve diğ., 2014'den).

### 3.3. Karbonifer - Permian Kaynak Kayaları

Üst Karbonifer (Pensilvaniyen) - Alt Permian kaynak kayalarının karakteri ve dağılımı, Paleozoik yaşlı diğer kaynak kayalardan önemli ölçüde farklıdır. Tip III kerojen (karasal) içeren sedimanter kayalar ve özellikle kömürler, ilk defa bu dönemde önemli bir hidrokarbon kaynağı olmuştur (Şekil 14). Bu birikimler, Pensilvaniyen-Alt Permian kaynak kayalarının yarısından fazladır ve bu dönemde üretilen hidrokarbonların yüzde 20'sinin fazlasından sorumludur (Ulmishek ve Klemme, 1990). Karbonifer yaşlı flüviyal-deltaik sığ denizel sedimanlarda, Gondwanaland'ın batı sınırında geçiş ortamı denizel şeylleri ve sığ deniz karbonatı ile iç içe geçmiştir. Birimlerin çökeliminde, duraksamalar vardır. Kaynak kayalar, geçiş ortamı denizel şeylleri ve Ordovisiyen şeylllerinden daha kaliteli kaynak kayalardır (Kendal ve diğ., 2014). Riftler ve önçukurlar (foredeeps), kaynak kaya depolanmasını kontrol eden başlıca yapılar ve platformlar, önceki dönemler kadar önemli değildir. Kalın orojenez molası birikimleri, kaynak kayaların derin gömülmesi ve organik maddenin kömürlü doğası nedeniyle, gaz türümünün petrolden daha fazla olmasına neden olmuştur. Pensilvaniyen-Alt Permian döneminde keşfedilen hidrokarbonların yaklaşık üçte ikisi gazdır. Gaz rezervlerinin hakimiyetinin bir başka nedeni de, muhtemelen Permian kaynak kayaları arasında yaygın olarak evaporitlerin bulunmasıdır. Pensilvaniyen-Alt Permian yaşlı birimler, eşit derecede denizel, karasal ve karma fasiyelerden oluşmaktadır. Permian döneminde, özellikle Neotetis'in geç açıldığı ve Gondwana'nın parçalandığı bölgelerde riftleşme etkin olmuştur. Önçukurlar (foredeeps), Hersiniyen kuşaklarında yoğunur (Ulmishek ve Klemme, 1990).

### 3.4. Permian - Triyas Kaynak Kayaları

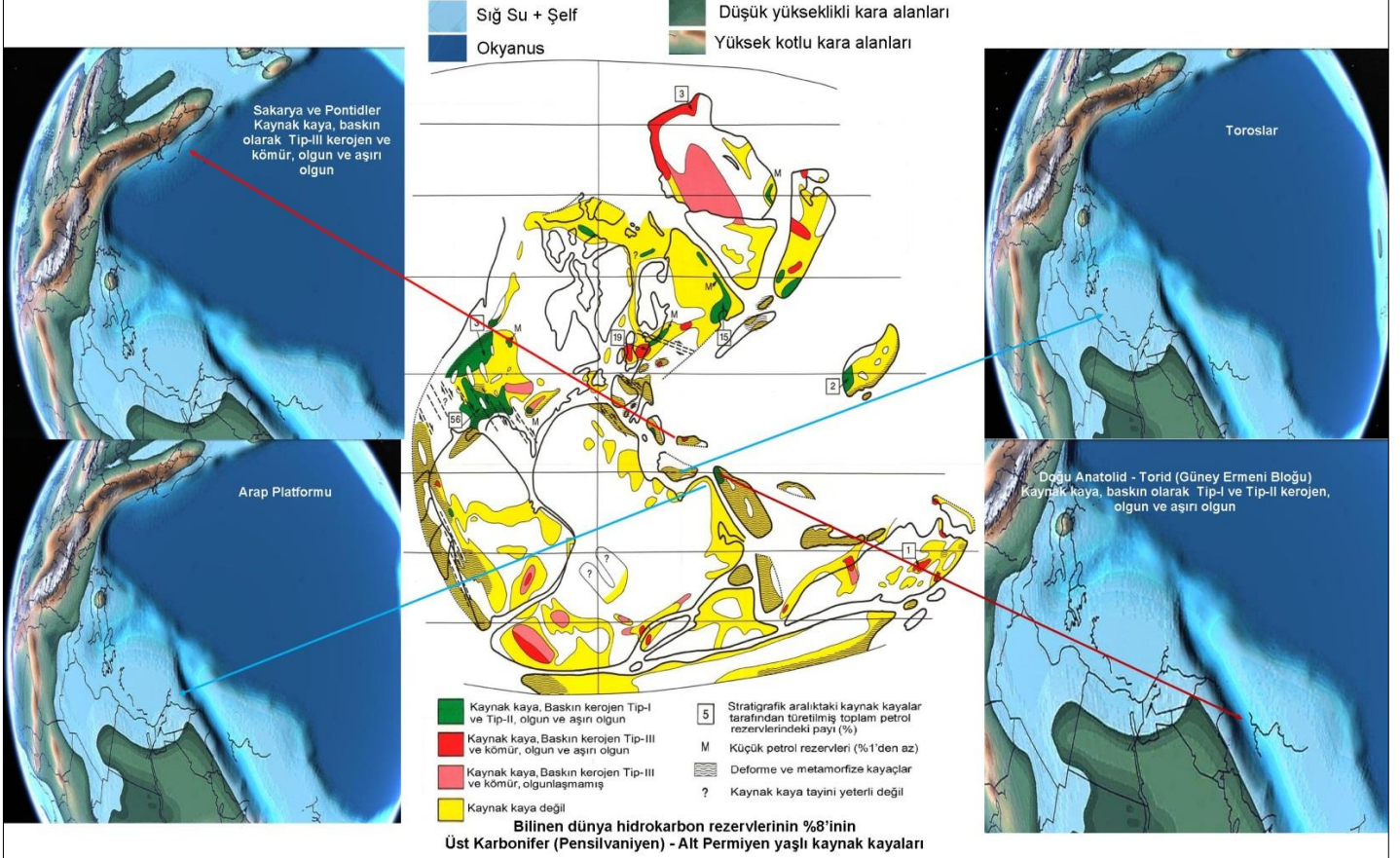
Tetis bölgesi, Permian'den Orta Jura'ya kadar Gondwana süperkıtasının kıta kenarı evriminin kaydını korumaktadır. Üst Karbonifer - Orta Triyas döneminde, Avrasya Gondwana'dan Paleotetis okyanusu oluşumu ile ayrılmıştır (Zürcher ve diğ., 2015). Alt Permian'de, Neotetis açılması ve pasif kıta kenarının çökmeye başlaması, kıtasal riftleşmeye sebep olmuştur (Şekil 4).

Permian yaşlı kaynak kayalar, geçiş ortamı denizel şeyllere ve karbonatlarla aratabakalı şeyllere oluşmuştur. Üst Permian'de, büyük oranda evaporit-karbonat bağlayıcılığına bağlı olarak tüm kıta kenarı boyunca sığ deniz karbonatlarına evrimleşmiştir. Bazı bölgelerde, karbonatlar geçiş ortamı denizel şeylleri ve flüviyal-deltaik silisiklastiklerle aratabakalıdır (Ulmishek ve Klemme, 1990; Klemme ve Ulmishek, 1991; Kendal ve diğ., 2014).

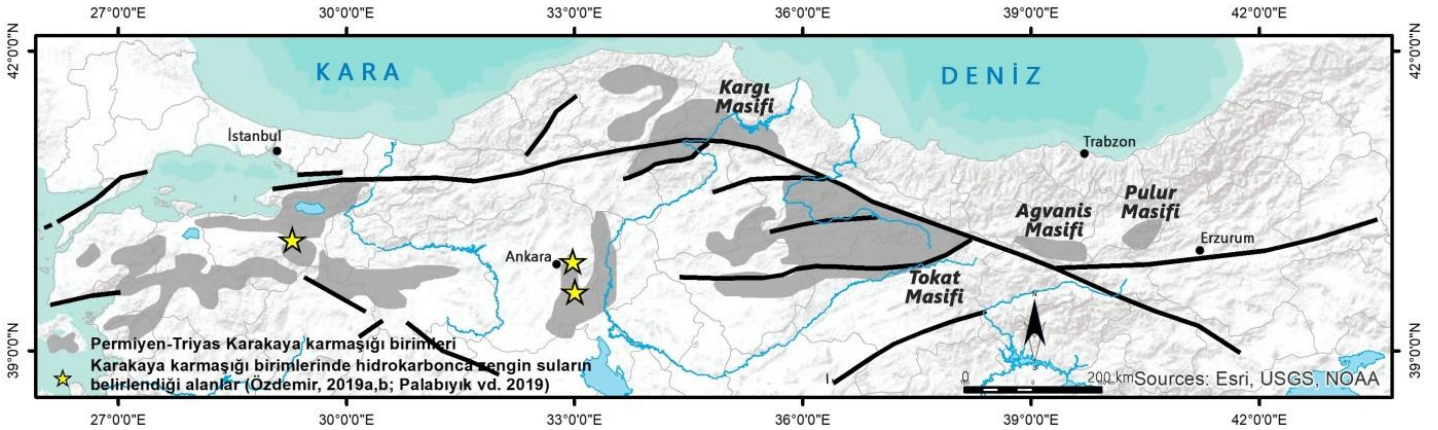
Triyas birimleri, az miktarda geçiş ortamı denizel şeylleri, baskın olarak dolomitik ve evaporitlerle aralanmalı sığ denizel karbonatlar ve flüviyal-deltaik sığ denizel silisiklastiklerden ve yerel olarak volkaniklerden oluşmaktadır. Triyas yaşlı kaynak kayalar, ağırlıklı olarak geçiş ortamı denizel karbonatları/dolomitleri ve evaporitlerdir (Ulmishek ve Klemme, 1990; Klemme ve Ulmishek, 1991; Kendal ve diğ., 2014). Triyas, Neotetis'in açılmasını, pasif kıta kenarı çöküşünü ve Kuzey Arabistan'da yay gerisi riftleşmesi ve sonunda da Akdeniz'deki riftleşmenin başlangıcı olarak tanımlanmaktadır. Bu süreçler, Kimmeriyen orojenezi ve Paleotetis okyanusunun güneyinde Neotetis okyanusunun açılmasına sebep olmuştur. Permian-Triyas sınırı, levha ölçeğinde bir uyumsuzluk oluşturur. Kimmeriyen ada zinciri, kuzeye doğru ilerleyerek kuzeye giden diğer kıta bloklarına katılarak Paleotetis okyanusunu kapatmış, sadece Neotetis okyanusu kalmıştır. Türkiye'nin günümüz kara alanlarını oluşturan mikrokıtalara, Alt Permian - Üst Jura zaman aralığında bir riftleşmeye maruz kalmıştır. Alt Triyas'ta da, bir rift havzası oluşumu mevcuttur (Şekil 4 - 7). Kuzeyde Karakaya okyanusu, güneyde ise İç Torit okyanusu vardır. Her iki okyanusun kenarında yer alan Kırşehir Bloğu (Orta Anadolu Kristalen Kompleksi) ve Menderes - Toros Bloğu'nun (Ta: Toros, Bitlis - Pötürge dahil) kıta kenarları riftlidir (Şekil 5). Türkiye'nin kuzeyinde geniş dağılıma sahip olan Karakaya Karmaşığı'nın tektonik gelişimini açıklayan rift modelinde (Okay ve Göncüoğlu, 2004), Karakaya Karmaşığı kayalarının Üst Permian yaşlı bir riftte oluştuğu ve bu riftin daha sonra okyanusal bir kenar denizine dönüştüğü ve Üst Triyas'ta kapandığı belirtilmiştir. Özdemir (2019a,b) ve Palabıyık ve diğ. (2019), Karakaya Karmaşığı'nın geniş yayılım

sergilediği Hasanoğlan (Ankara), Mamak (Ankara) ve Uludağ (Bursa) bölgelerinin petrol ve doğalgaz potansiyelini incelemiştir. Bu bölgelerdeki yüzey ve yeraltı suyu numunelerinin tamamında olgun petrol hidrokarbonları belirlenmiştir. Bu hidrokarbonlar, Permian-Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı birimlerindeki petrol sistemleri için kanıttır. Bu veri, Türkiye'nin kuzeyinde geniş bir yayılıma sahip ve metamorfizma öncesi sedimanter kaya (şeyl, çamurtaşı, karbonat vb.) olan Karakaya Karmaşığı'nın, siyah, gri ve kahverengi renkli metamorfik kayaların (şistler, filitler, sleytler, kristalize

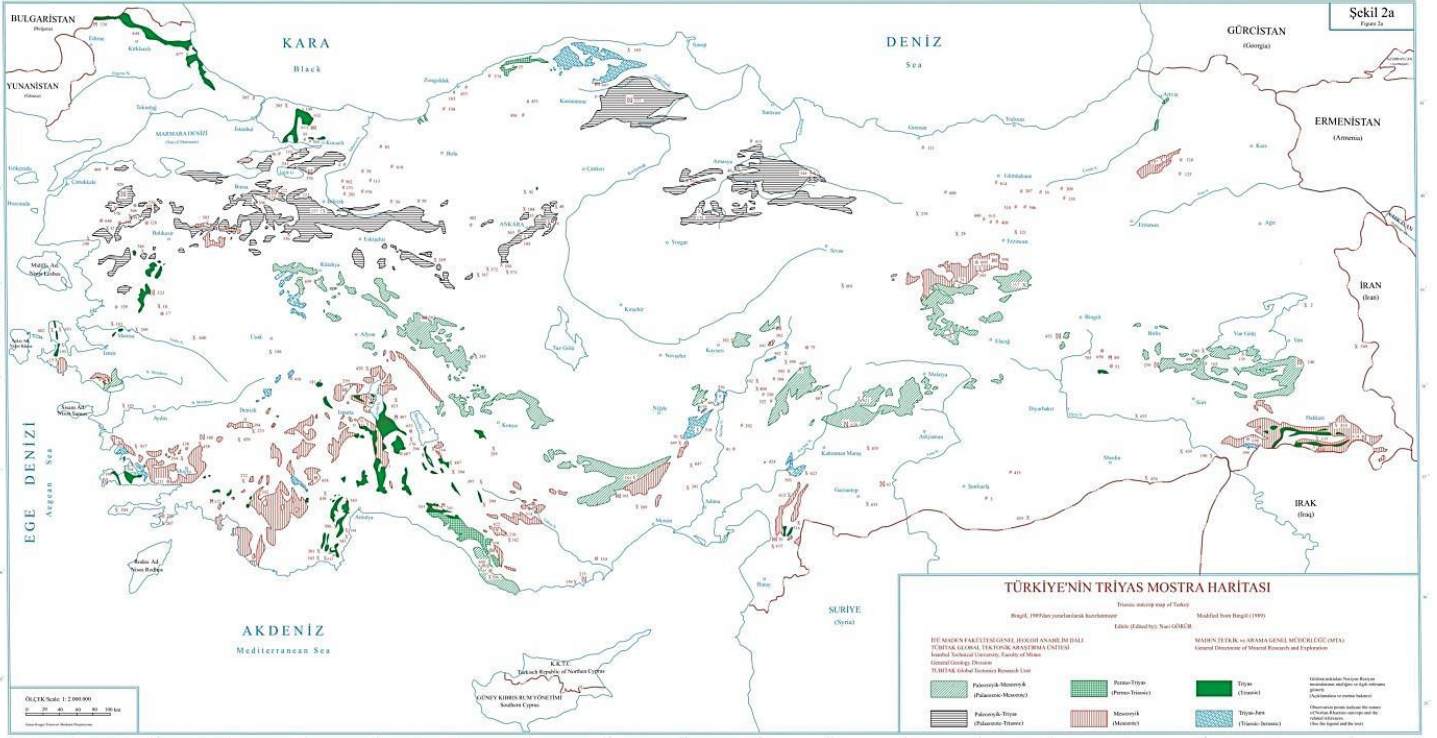
kireçtaşları ve mermerler) petrolünü üretmiş/tükenmiş kaynak kayalar (Özdemir ve Palabıyık, 2020a) olduğunu belirtmektedir (Şekil 15). Yazarlar, Görür ve diğ. (2018) Triyas mostra haritası (Şekil 16), Palabıyık ve Özdemir (2019a) Türkiye petrol ve doğalgaz sızıntısı haritası (Şekil 17) ve Triyas birimlerde olgun petrol hidrokarbonları belirlenmiş olan öncel çalışmalara göre, Türkiye kara alanlarındaki en potansiyel petrolünü üretmiş/tükenmiş kaynak kayalardan birisinin Karakaya Karmaşığı ve Triyas eşleştiği birimler olduğu düşünülmektedir.



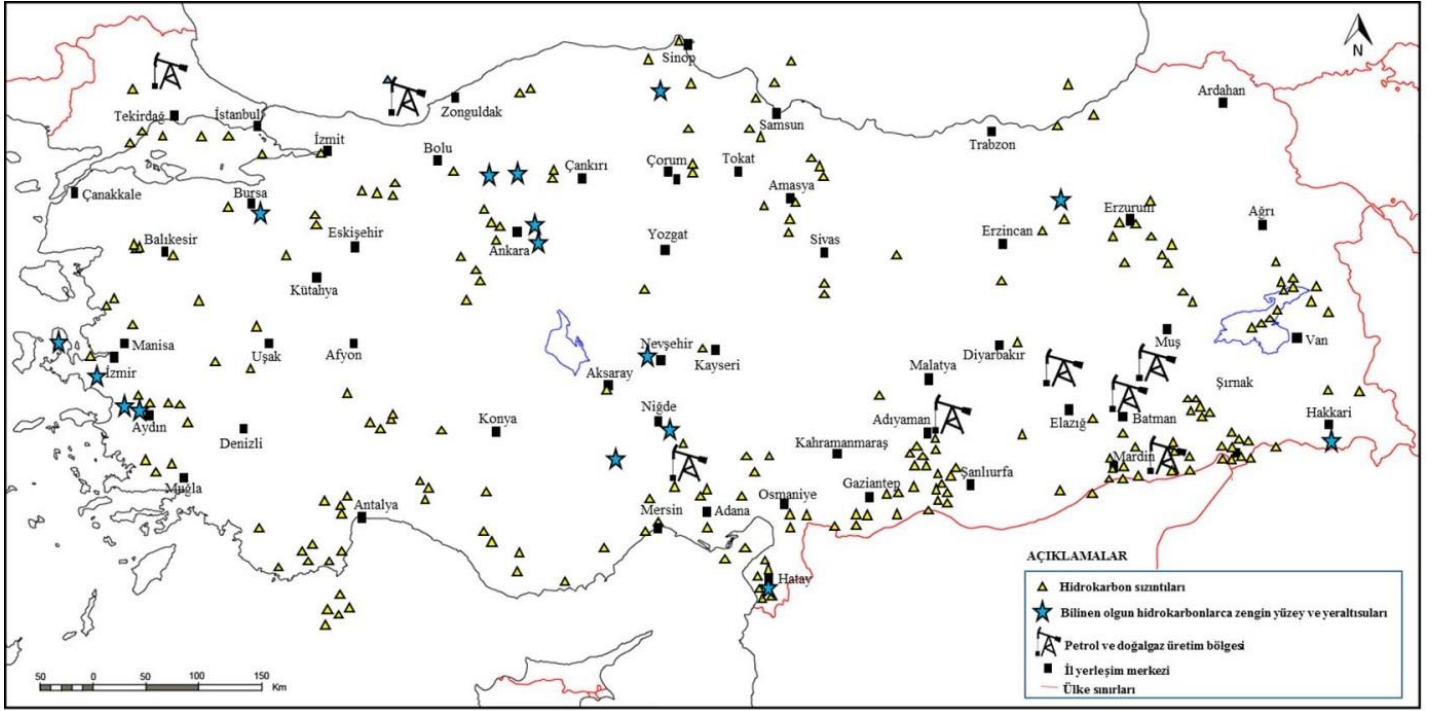
Şekil 14. Türkiye'nin Üst Karbonifer (Pensilvaniyen) - Alt Permiyen dönemi petrol ve doğalgaz kaynak kaya haritası (Kaynak kaya haritası : Ulmişek ve Klemme, 1990; Paleocoğrafya haritaları : Scotese, 2001'den). Mikrokitaların adlandırılmasında, Zürcher ve diğ. (2015) çalışması esas alınmıştır.



Şekil 15. Permian-Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı'nın Türkiye'nin kuzeyindeki dağılımı (Sayit, 2010'dan değiştirilerek).



Şekil 16. Türkiye'nin Triyas yaşlı birimlerinin mostra haritası (Görür ve diğ., 1998).



Şekil 17. Türkiye'nin bilinen hidrokarbon sızıntıları (Palabiyik ve Özdemir, 2019a).

### 3.5. Jura - Kretase Kaynak Kayaları

Küresel petrol ve doğalgaz araştırmaları, dünyanın hidrokarbon kaynak kayalarının çoğunluğunun Kretase döneminde oluştuğunu göstermiştir. Dünya petrol ve doğalgaz sahalarının yaklaşık %60'ı Albien - Koniasiyen döneminin kaynak kayaları ile ilişkilidir (Irving ve diğ., 1974; Yang ve diğ., 2014). Ortadoğu'da iyi bilinen İran Sahili-Zagros Havzası, Maracaibo Havzası (Venezuela) ve Songliao Havzası (Çin) da dahil olmak üzere çok sayıda petrollü havza, Kretase kaynak kayaları ile ilişkilidir. Buna ek olarak, Batı Sibiryası Havzası (Rusya), Meksika Körfezi Havzası, Rocky Dağları önü havzaları

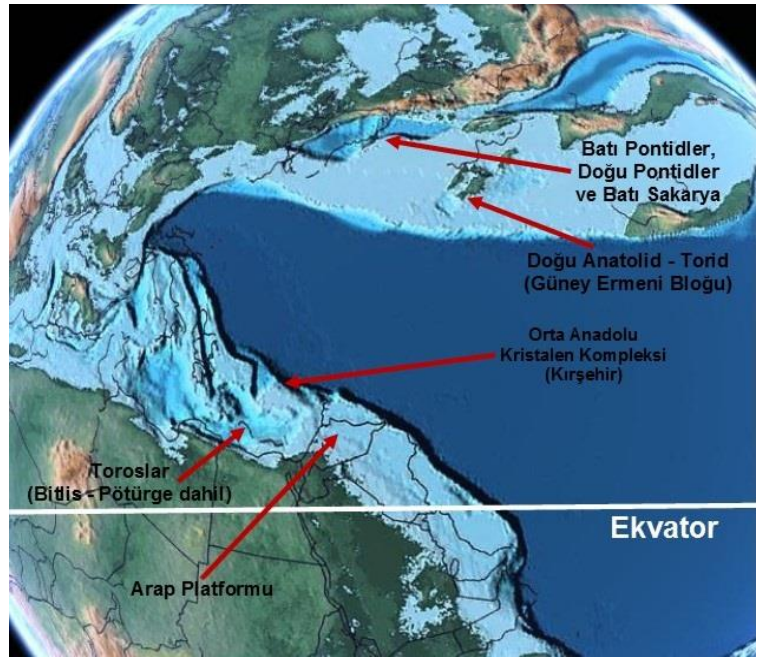
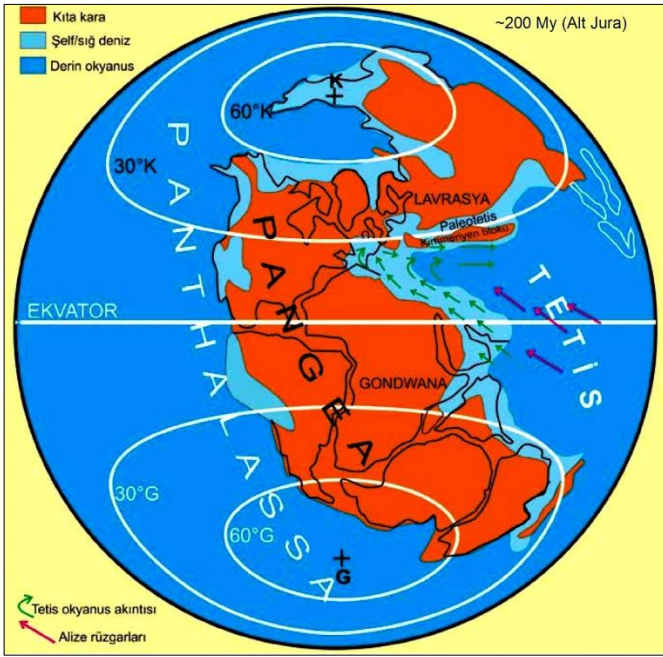
(Amerika) ve Kuzey Yamaç (North Slope/Kuzey Amerika) Havzası gibi havzalardaki hidrokarbon kaynakları da kısmen Kretase kaynak kayalarından türemiştir. Bu nedenle, önemli petrol ve doğalgaz kaynakları ile Kretase kaynak kayaları arasındaki ilişki, Kretase kaynak kayalarının oluşumunda rol oynayan süreçleri anlamak için önemlidir. Ayrıca, Kretase dönemi dünya evriminde önemli bir dönemdir. Bir dizi Okyanusal Anoksik Olaylar (OAO) ve Kretase Okyanusal Red-Bed tipi sedimantasyon (CORB) gelişimi de dahil olmak üzere başlıca jeolojik olaylarla ilişkilidir (Jenkyns, 2010; Wang ve diğ., 2011; Yang ve diğ., 2014). Bu durum, Kretase kaynak

kayalarının oluşumunda rol oynayan süreçlerin belirlenmesinin jeolojik açıdan büyük önem taşıdığına işaret etmektedir (Yang ve diğ., 2014).

Ortadoğu petrolünün %70'inden fazlası, Jura-Kretase yaşlı sedimanlardan (Fanerozoik devrinin yaklaşık %30'una karşılık gelir) üretilmektedir. Bu klasik kaynak kayaların bazıları; Sargelu Formasyonu (Orta Jura, tip yerinde 150-200 m kalınlıkta), Garau Formasyonu (Alt Kretase, 800 metreden fazla kalınlıkta), Gadvan Formasyonu (Alt Kretase, 100 metre kalınlıkta) ve Kazhdomi Formasyonu (Orta Kretase, 200 metre kalınlıkta) hem GB İran'ın Zagros Havzası'ndaki hem de Irak ve Basra Körfezi bölgelerindeki eşdeğer yaşlı kireçli-şeyl formasyonlarını kapsamaktadır. Bu zengin kaynak kayaları açıklamak için, Jura ve Kretase dönemindeki Neotetis şelfinin genişliğini ve konumunu dikkate almak gereklidir. Neotetis, Jura-Kretase döneminde sıcak, organik maddece zengin ekvatora yakın konumdadır. Neotetis'e kıyıları bulunan karalar, geniş ve uzun şelflere sahiptir. Ayrıca, organik maddece zengin sedimantasyon süreçlerinden yararlanmaya da uygun bir pozisyonundadır. Üst Jura-Alt Kretase döneminde, Gondwana parçalanmış, ayrıca rift volkanizması ve deniz tabanı yayılması gelişmiş, okyanus sıcaklıkları yükselmiş ve okyanus suları volkanik taşkınlardan gelen (okyanus ortası sırtlar ve kıtasal kenarlar veya ada yayları boyunca) besin değeri yüksek maddelerce zenginleşmeye başlamıştır. Orta Kretase denizel çökellerdeki planktonik foraminiferlerin oksijen analizi, özellikle artan volkanik faaliyetlerden dolayı atmosferin karbondioksit miktarlarındaki hızlı artış nedeniyle 85-125 milyon yıl arasında şiddetli bir küresel ısınma dönemi olduğunu göstermektedir. Sıcak iklim, yükselmiş konumlu denizlerin ve okyanusların azot, fosfor ve karbon içeriklerindeki artışlar, o dönemde çökelen denizel sedimanların organik açıdan zenginleşmesinde başlıca etken olmuştur. Bu durum, plankton nüfusunda ölçülemeyecek boyutta bir artışa sebep olmuştur.

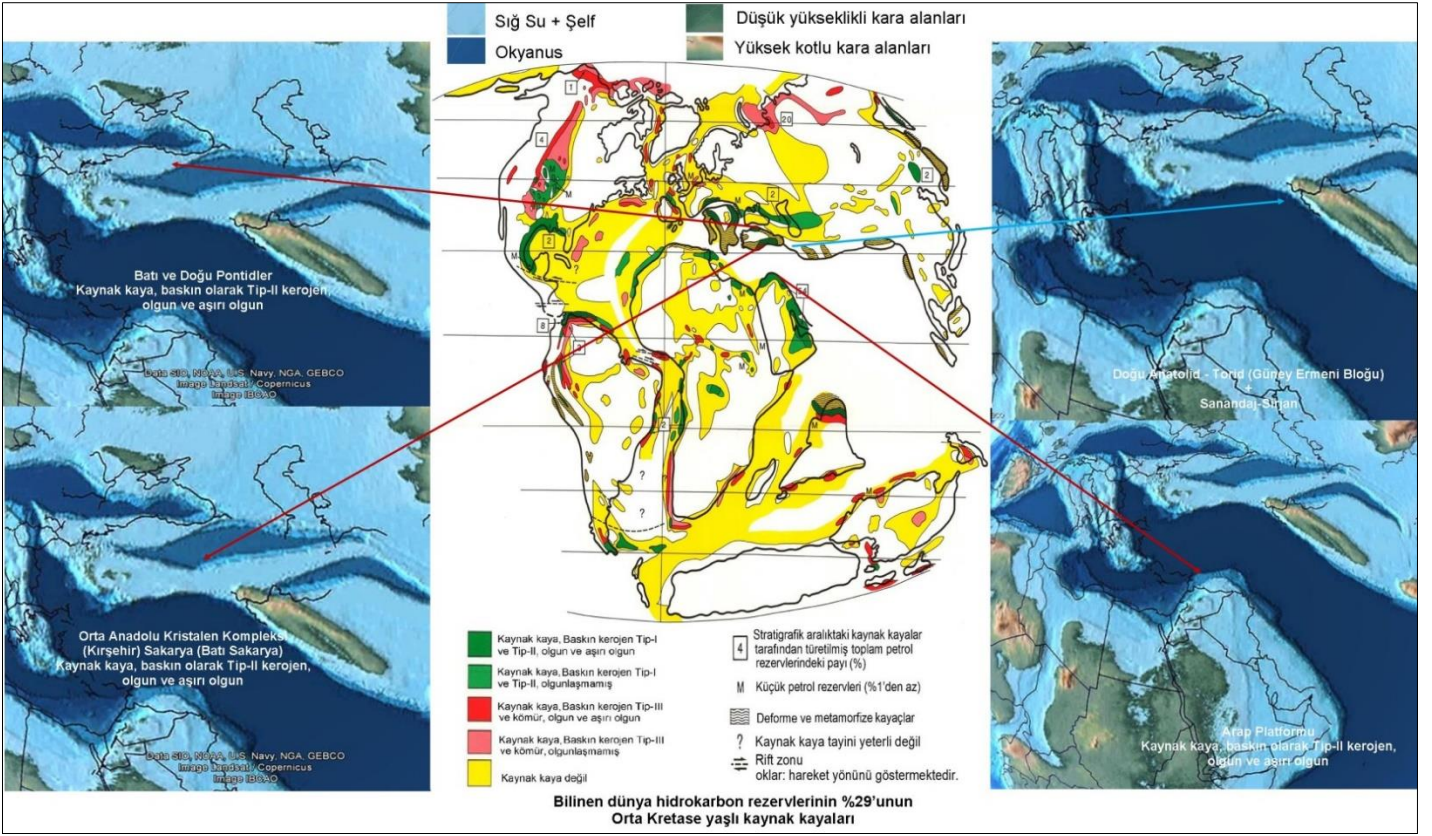
Sedimantasyon, büyük ölçüde iklimin sıcak ve organik etkinliğin en yüksek düzeyde olduğu 30 °K ve 30 °G enlemleri arasındadır (Şekil 18). Bu olaylardan, en çok Neotetis okyanusu kıyısındaki Ortadoğu ülkelerinin bulunduğu Gondwana pasif kıta kenarı (Türkiye'yi oluşturan kıta parçaları dahil) faydalanmıştır (Şekil 18). Ortadoğu'nun sedimenter fasiyes dağılımlarına dayanılarak Mesozoyik yaşlı karbonatlar iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup, 30-100 metre arasında değişen kalınlıkta kırıntılılar havzaya getirildiğinde deniz çekilmeleri (regresyon) sırasında çökelmiş tekrarlanmalı tümsek karbonatlarıdır (kırıntılı killi tabakalarla karışık). İkinci grup, deniz ilerlemesi (transgresyon) koşulları altında çökelmiş olan platform karbonatları veya ayrımlaşmış şelf karbonatlarıdır. Ayrımlaşma, karbonat-evaporit platformlarından yüksek enerjili kıyıları ayrılmış oksijensizliğe mahkum havzalarla (sedimanı az ve organik maddesi çok) belirlenir. Petrolce zengin kaynak kayalar, ikinci grupta yer almaktadır (Sorkhabi, 2010).

Orta Jura döneminde, Paleotetis okyanusu kapanmış ve Gondwana kenarındaki mikrokıtaların ritleşmesi ile Güney Neotetis okyanusu oluşmuştur (Şekil 6) (Zürcher ve diğ., 2015). Jura kaynak kayaları, geçiş ortamı denizel şeylleri, çok derin deniz şeylleri ve tebeşirlerdir (Kendal ve diğ., 2014). Gondwanaland kıta kenarı ekvatora paralel olan Arap ve Kuzey Afrika levhalarının kurulmuş ve Neotetis oldukça daralmıştır (Şekil 6, 18 ve 19). Kretase kaynak kayaları, geçiş ortamı ve derin denizel şeylleri ve karbonatlar, sığ denizel karbonatlı şeylleri ve tebeşir taşlarıdır. Gondwanaland'ın kuzey kenarının Kretase kaynak kayaları, geçiş ortamı denizel şeylleri, derin deniz şeylleri ve karbonatlar, sığ denizel karbonatlı şeylleri ve tebeşirtaşlarıdır. Derin su kaynak kayaları, kıta kenarının orta ve doğu kesimlerinde birkaç alanda yer almaktadır. Denizel geçiş ortamında oluşan kanıtlanmış ve olası kaynak kayalar, kıta içi (intrakratonik) havzalarının yanı sıra kıta kenarı boyunca da bulunmaktadır (Şekil 18 ve 19) (Kendal ve diğ., 2014).



Şekil 18. Alt Jura dönemi (~ 200 My) Neotetis'in sıcak ekvator suları altında, Türkiye'yi oluşturan mikrokıta parçalarının konumları (a: Sorkhabi, 2010; b: Scotese, 2001'den). Mikrokıtaların adlandırılmasında, Zürcher ve diğ. (2015) çalışması esas alınmıştır.



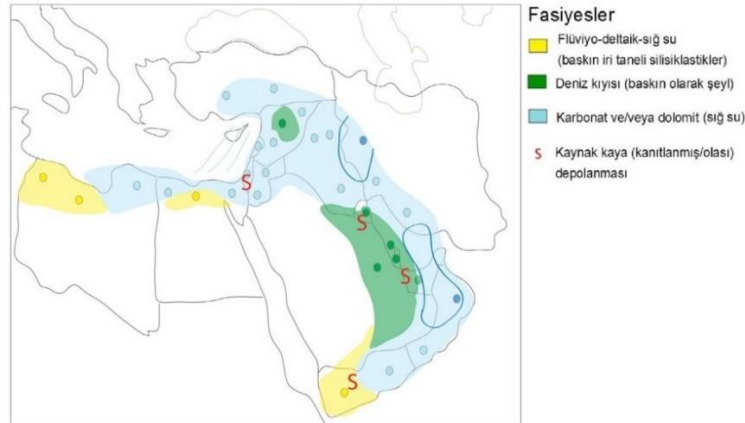


Şekil 19. Türkiye'nin Orta Kretase dönemi petrol ve doğalgaz kaynak kaya haritası (Kaynak kaya haritası: Ulmishek ve Klemme, 1990; Paleocoğrafya haritaları: Scotese, 2001'den). Mikrokıtaların adlandırılmasında, Zürcher ve diğ. (2015) çalışması esas alınmıştır.

### 3.5.1. Titoniyen merkezli (Tithonian-centered) kaynak kayalar

Titoniyen katının özel bir ürünü olan ve Titonik fasiyes olarak adlandırılan pelajik kireçtaşları içerisinde bol olarak bulunan Calpionellidler, sık olarak rastlanılan Akdeniz bölgesi dışında, sadece Kuzey Amerika'nın doğu sahilleri (Meksika Körfezi) ile Basra Körfezi civarında gözlenmiştir (Şekil 20). Bunların dışında, Orta Himalayalar'da ve Tibet'te de benzer bir seri saptanmıştır. Planktik fosillerden olan Calpionellidlerin özellikle fosil formları, Türkiye'nin ve dünyanın diğer yerlerinde Üst Jura-Kretase boyunca varolan sıcak sığ denizlerde yaşamışlardır. Dolayısıyla, bu denizlere ait pelajik kireçtaşları içerisinde bol olarak bulunurlar. Bu kireçtaşlarının hemen hemen tümü mikritik dokulu olup, Capionellidlerin yanısıra bol

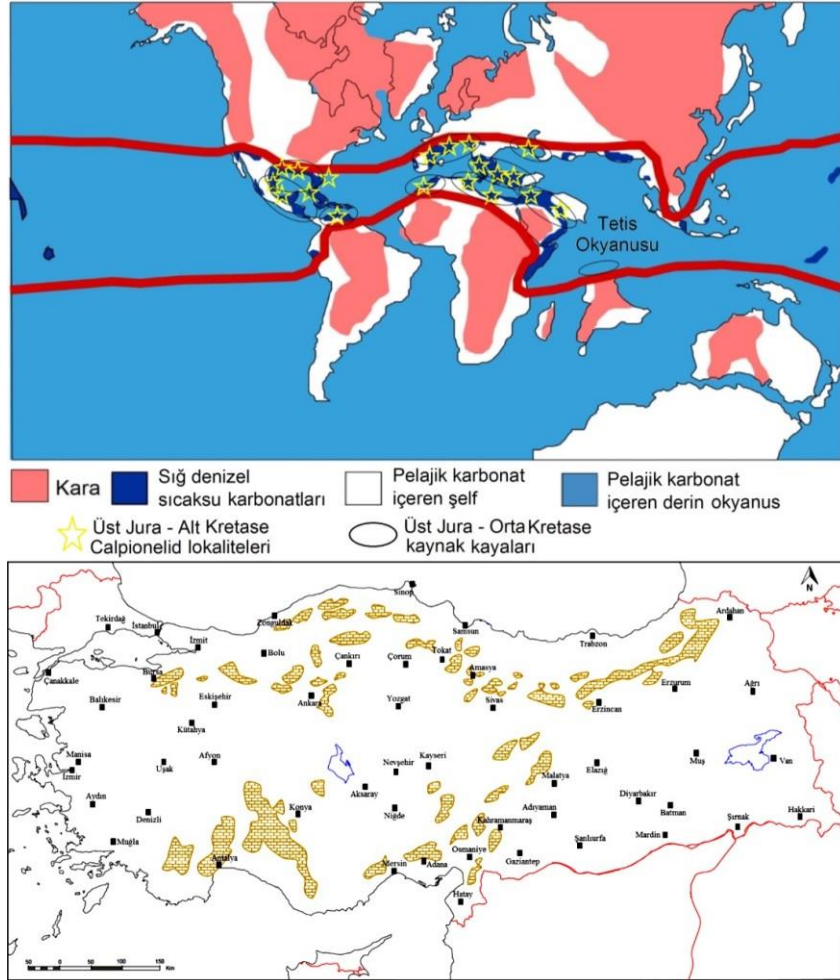
miktarda radyolaryaya ve sünger spikülleri içerirler. Titonik fasiyes olarak tanımlanan bu ince tabakalı ve killi pelajik kireçtaşları içerisinde bol olarak nanoplanktonlarda gözlenir. Calpionellidlerin fosilleşebilmesinde önemli bir unsur, bunlarla beslenen mikroplanktonlardır. Bir Calpionellidin deniz tabanına ulaşabilmesi için bu organizmaları aşabilmesi gereklidir. Kısacası, Calpionellidlerin fosilleşebilmesi çok zordur. Tüm bu olumsuzluklara karşın, özellikle Üst Jura - Alt Kretase yaşlı pelajik kireçtaşlarında bu kadar bol Calpionellid fosiline rastlanması, bu zaman aralığında ne denli çoğaldıklarına işaret etmektedir (Bu kadar bol Calpionellid fosiline rastlanması, bu zaman aralığında bunlarla beslenen mikroplanktonların toplu olarak yok olduğuna işaret etmektedir) (Tunç, 1991, Burşuk, 1992; Akyazı, 2001; Akyazı ve Tunç, 2007)..



Şekil 20. Türkiye güneyinin Üst Kretase kaynak kayaları (Kendal ve diğ., 2014'den).

Organik maddece zengin Üst Jura kaynak kayaları Güney Tetis kıta kenarında, Avrupa Tetis bölgesinde ve Meksika Körfezi kuzeyinde depolanmıştır (Şekil 21). Titonik fasiyesi kaynak kayalarının ana özelliği, organik maddece zengin ve olgun olmalarıdır. Bu kaynak kayalardan oluşan petrol sistemlerinin, dünya petrol rezervlerinin % 25'ini oluşturduğu düşünülmektedir. Üst Jura'da, küresel bir okyanusal anoksik olay tanımlanmamıştır. Ancak, küresel deniz seviyesi yükselmeleri ve Pangea'nın parçalanmasından sonra gelişen sınırlı okyanusal havzalarda denizel organik madde birikimini sağlamıştır. Titoniyen merkezli kaynak kayaları, deniz tabanı yayılması ve hızlı çökme olayları altında küresel kaynak oluşturan koşullarda depolanmıştır. Meksika Körfezi'nin kuzeyindeki derin sulardaki Titoniyen merkezli kaynak kayaların hidrokarbonları tarafından doldurulmuş kapanların tanınması, Louisiana şelfi ve yamacındaki Flex Trend keşifleri (Konyak, Lena, Zinc, Pompano ve Yeşil Kanyon 18 gibi) sayesinde olmuştur. Mini havzalar, kıvrım kuşakları ve Wilcox birikimlerinin ardından derin ve ultra-derin suya doğru ilerledikçe, Titoniyen merkezli kaynak kayaların petroleri ile ilgili yeni kanıtlar ortaya çıkmaktadır. Oksfordiyen Smackover formasyonu, Titoniyen merkezli kaynakların temelini oluşturur ve Meksika Körfezi'nin kuzey kıyısında bulunan tuz havzalarındaki karbonat kaya rezervuarlarından üretilen

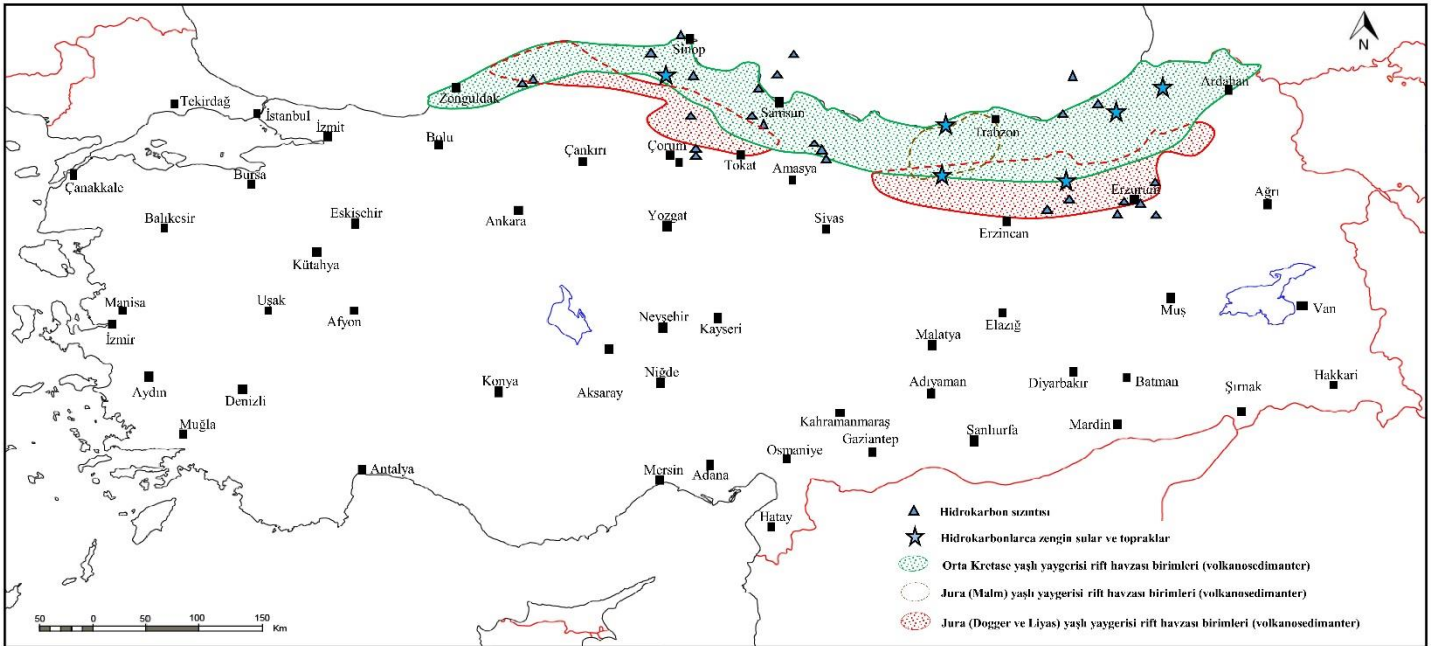
hidrokarbonlar için iyi bilinen bir kaynaktır. Ayrıca, Meksika Körfezi kuzey şelfi ve doğusundaki Norflet (NOR) derinsu rezervuarları için ana kaynak kayadır (Cunningham ve diğ., 2016). Meksika Körfezi yamacındaki yüksek kükürlü petroler ve bunlarla ilişkili doğalgazların, Titoniyen kaynak kayalardan türediği düşünülmektedir. Bu döneme ait organik maddece zengin ve aşırı olgunlaşmış şeyller, Meksika Körfezi'nin doğusunda bulunmaktadır. Üst Kretase - Tersiyer bölümlerinin olgunlaşmamış olduğu Florida şelfi üzerindeki Kretase rezervuarlarında, Titoniyen petroleri bulunmaktadır (Hood ve diğ., 2002). Titoniyen merkezli kaynak olarak adlandırılan bu kaynak kaya, ikinci dereceden transgresif ve göreceli olarak aşırı durgun sistemleri temsil eden süpersekanlar içinde yer alan Haynesville ve Bossier şeyllerini içerir. Titoniyen merkezli petrol ailesi rezervuarları ve sızıntılarından elde edilen litofasiyese duyarlı jeokimyasal parametreler, Titoniyen kireçli ortama silisiklastik tortul girişi olduğunu göstermektedir. Derinsu içerisindeki karbonatlarla karışan bu silisiklastikler, kerojenin kükürt içeriği düşürerek petrol kalitesinin artmasına katkıda bulunabilir. Meksika'nın Sonda de Campeche offshore bölgesinde, Titoniyen sedimanter istifi, Paleosen kapanlarında bulunan hidrokarbonların en önemli kaynağıdır (Santamaria-Orozco ve Horsfield, 2003).



Şekil 21. Tetis Bölgesi'nde Üst Jura - Alt Kretase dönemi Calpionellid fosillerinin, Kretase karbonat platformlarının (kırmızı hatlar arası karbonat platformlarını göstermektedir) ve Üst Jura - Alt Kretase Titonik fasiyesi kayaçlarının dağılımı. Türkiye'de Titonik fasiyesi pelajik kireçtaşlarının dağılımı (paleocoğrafya haritası ve karbonat platformları dağılımı: Skelton, 2003; Yang ve diğ., 2014, kaynak kaya verisi: Klemme ve Ulmishek, 1991; Capionel verisi: Tunç, 1991; Burşuk, 1992; Akyazı, 2001; López-Martínez ve diğ., 2017).

Tetis bölgesinde yer alan Türkiye’de, özellikle de Kuzey Anadolu’da Üst Jura-Alt Kretase birimleri geniş yüzlekler sunmaktadır. Pontid kuşağında, oldukça yaygın olarak gözlenmektedir. Kuzey Anadolu’nun özellikle orta ve kuzey kesimindeki bu sığ denizel Üst Jura - Alt Kretase yüzlekleri, Titonik fasiyeste gelişmiş, bol Calpionel içeren killi denizel kireçtaşlarından oluşmuştur. Doğu Pontidler’de; Koyulhisar, Suşehri, Akıncılar (Sivas), Alucra, Çamoluk (Giresun) ve Kelkit (Gümüşhane) yörelerinde yüzeyleyen Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları Titonik fasiyes ürünleridir ve bol Calpionel içerirler. Kuzey Anadolu’da oldukça geniş yayılım sunan bu birimler, litostratigrafik kronostratigrafik ve biyostratigrafik açıdan büyük ölçüde benzer özellikler göstermektedir. Jura-Kretase geçişi, sedimantasyonun devamlı oluşu nedeniyle litolojik olarak ayırt edilememektedir. Bu birimler, genellikle ince tabakalı olmakla birlikte değişen kalınlıkta tabakalanma gösteren, mikritik dokulu, killi pelajik kireçtaşlarıdır. Bu litolojiyi gösteren alanlarda Jura-Kretase sınırının saptanması ve Titoniyen-Valangiyen yaş aralığı içerisinde bulunan katların ayırımı, Calpionellidler sayesinde net bir biçimde yapılabilmektedir. Titonik fasiyesi, sığ su karbonatları ile pelajik fasiyesler arasındaki ayırıcı bir işaret olması açısından da önemlidir (Tunç, 1991, Burşuk, 1992; Akyazı, 2001; Akyazı ve Tunç, 2007). Bu nedenlerle, Jura-Kretase döneminde mikrop planktonların toplu olarak yok olması sonucunda yoğun Calpionellid fosili içeren Titoniyen merkezli pelajik kireçtaşları, Türkiye’nin keşfedilmemiş petrol ve doğalgaz kaynak kayası olma açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

Pontidler, Jura-Kretase zaman aralığında riftleşmeye maruz kalmış ve bir yaygerisi rift havzası gelişmiştir (Şekil 6, 18, 19). Bu yaygerisi rift havzaları, petrol oluşumu için uygun alanlardır (Şekil 22 ve 23) (Sorkhabi, 2010; Özdemir, 2019a,b; Özdemir ve Palabıyık, 2020a). Pontidler, Türkiye’nin en büyük rezerve sahip işletilen metalik maden yataklarının bulunduğu bölgedir. Özdemir ve Palabıyık (2019a-c) işletilebilir boyuttaki metalik madenlerin petrol ve doğalgaz birikimleri için sığ ve güvenilir bir belirteç olduğunu bildirmiştir. Özdemir (2020) ise, işletilebilir boyutta bir yataklanma oluşturabilmiş Pb-Zn yataklarının bulunduğu alanlarda, bu yatakların petrol ve doğalgaz aramak için sığ ve güvenilir bir belirteç olarak kullanılabileceğini belirtmiştir. Nitekim, Özdemir ve Palabıyık (2020b), Doğu Pontidler’deki bazı su kaynaklarından ve topraklardan alınan numunelerde yapılan TPH analizi sonuçlarına göre, alınan su ve toprak numunelerinin tamamında petrol hidrokarbonları tespit edilmiştir. Hidrokarbonları türeten kaynak kayaların, karasal katlı denizel ortamda çökelediği belirlenmiş ve tespit edilen hidrokarbonların Doğu Pontidler’deki hidrokarbon oluşumu ve türümü için önemli bir kanıt olduğu bildirilmiştir (Şekil 22). Palabıyık ve diğ. (2020) de, Orta Pontidlerin petrol ve doğalgaz potansiyelinin belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmalarında, çok sayıda su ve toprak numunesinde hidrokarbonlar belirlemişlerdir (Şekil 24). Dolayısıyla, başta Pb-Zn yatakları olmak üzere çok sayıda metalik maden yatağı bulunan Pontidler, hem petrol ve doğalgaz kaynak kayası hem de hidrokarbon rezervuarlarının varlığı açısından değerli bir bölgedir.

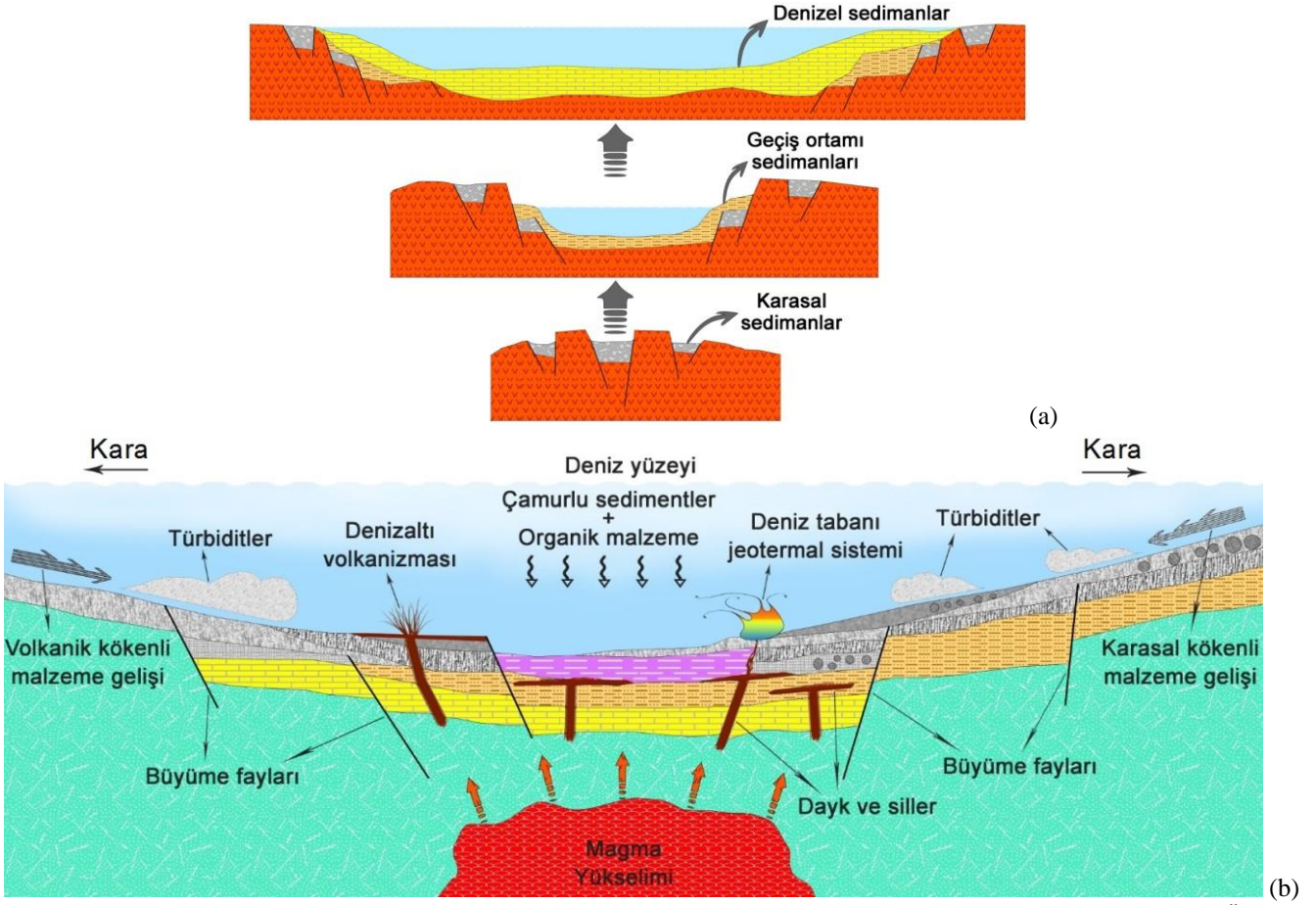


Şekil 22. Pontidlerdeki Jura-Kretase yaşlı yaygerisi rift havzası birimleri ve hidrokarbon emareleri (Özdemir ve Palabıyık, 2020b).

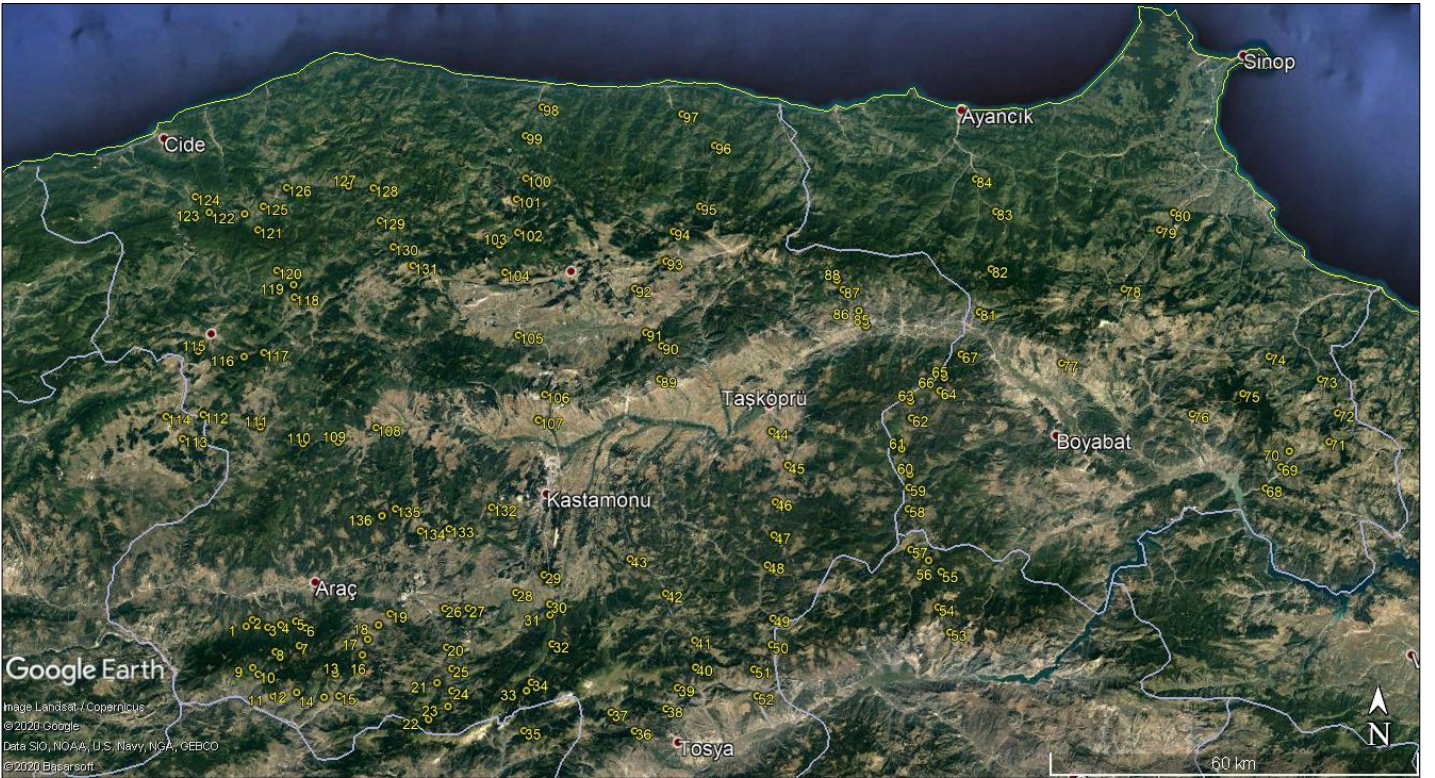
### 3.6. Senozoyik Kaynak Kayaları

Paleojende, Neotetis önemli ölçüde daralmıştır (Şekil 6). Paleosen’deki sıkışma, Neotetis okyanusu kıyısındaki ofiyolit üzerlemesinin ve hızlı çökmenin durması ile mega-tektonik bir dizi ve dağ oluşumu ile 5000 metreden fazla sedimanın doldurduğu bir önçukur (foredeep) gelişmiştir. Mega-tektonik dizi, Neotetis’in nihai kapanma ürünleri olan kıvrılma ve bindirme olayları ile karakterize edilmektedir. Kaynak kayalar, geçiş ortamı denizel şeylleri, derin deniz şeylleri ve karbonatları,

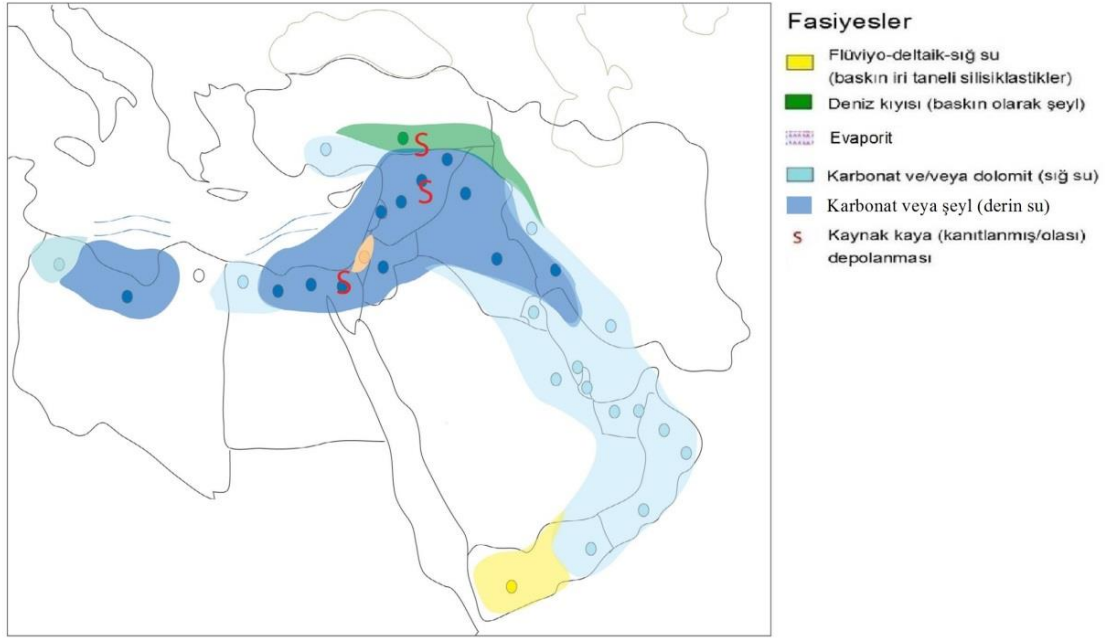
sığ denizel karbonatlı şeyller ve tebeşirtaşlarıdır (Şekil 25). Miyosen - Holosen döneminde, Neotetis neredeyse tamamen kapanmıştır (Şekil 7). Neotetis’in kapanması, volkanizma, kıvrılma ve bindirme olaylarıyla karakterizedir. Doğu Akdeniz’de, evaporit ve karbonat birimler baskındır (Şekil 25). Miyosen evaporit birikimini, Tersiyer orojenik olayların etkisi ile Pliyosen silisiklastik sedimantasyon izlemiştir. Güney Neotetis Bölgesi kara alanlarında, Neojen yaşlı potansiyel kaynak kayalar bulunmasına karşın, yetersiz gömülme nedeniyle olgunlaşmamıştır (Kendal ve diğ., 2014).



Şekil 23. (a) Bir rift havzasında sediman birikimi, (b) Petrol ve doğalgaz kaynak kayası oluşumunun kavramsal modeli (Özdemir ve Palabıyık, 2020a)



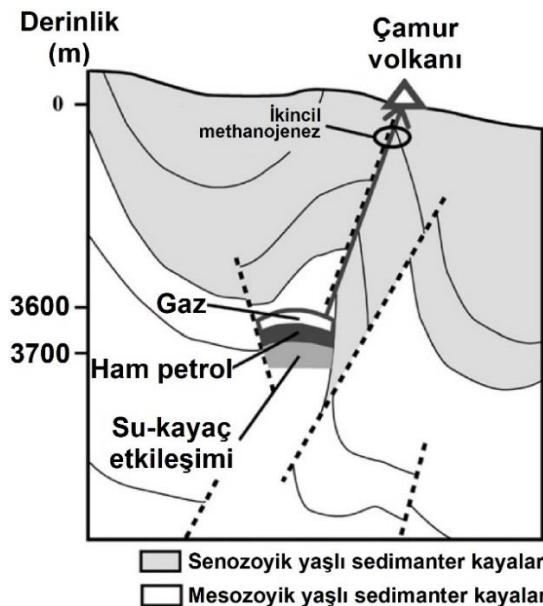
Şekil 24. Orta Pontidler'deki hidrokarbonlarca zengin su ve toprak numunelerinin (sarı renkli numaralı daireler, aynı numaralardan hem su hem de toprak numuneleri alınmıştır) yerbulduru haritası (Palabıyık ve diğ., 2020).



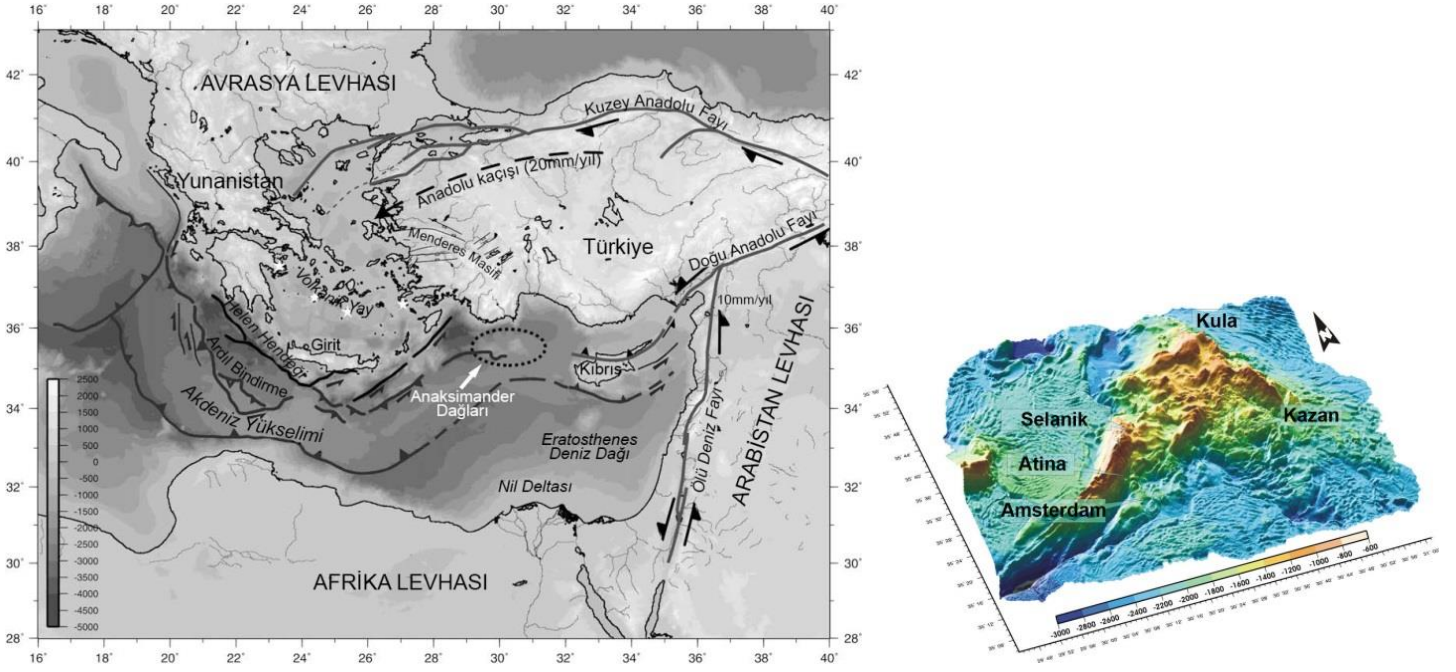
Şekil 25. Türkiye'nin güneyindeki Paleosen kaynak kayaları (Kendal ve diğ., 2014).

Çamur volkanları ile petrol ve doğalgaz sahaları arasında sıkı bir ilişki vardır (Şekil 26). Çamur volkanları, petrol ve doğalgaz sahalarında görülen yaygın oluşumlardan birisidir. Gaz ve su çıkışları ile sıkı ilişkili olan bu volkanlar, genellikle antiklinal doruklarına veya kıvrımlanma sonucu oluşan kırıklara yakın yerlerde oluşurlar. Petrollü seviyeler içeren ve yüzeye yakın antiklinaller üzerinde daha çok sayıda çamur volkanı görülmektedir. Petrollü seviyelerin çok derinde olduğu alanlarda ise, çok az sayıda çamur volkanı görülür. Çamur volkanları, özellikle Tersiyer (çoğunluğu Neojen bir kısmı Kuvaterner) yaşlı petrol ve doğalgaz sahalarının belirgin özelliğidir. Azerbaycan'da 220'ye yakın çamur volkanının varlığı bilinmektedir. Çamur volkanları, Bakü'nün batı ve güneybatısındadır. Bu bölge, aynı zamanda petrol ve doğalgaz sahalarının da en yoğun bulunduğu bölgedir (İnan, 1982). Çamur volkanları, hem pasif hem de aktif kıta kenarlarında deniz tabanındaki aktif metan/hidrokarbon boşalımının en belirgin belirteçleridir (López-Rodríguez ve diğ., 2014; Özdemir ve diğ.,

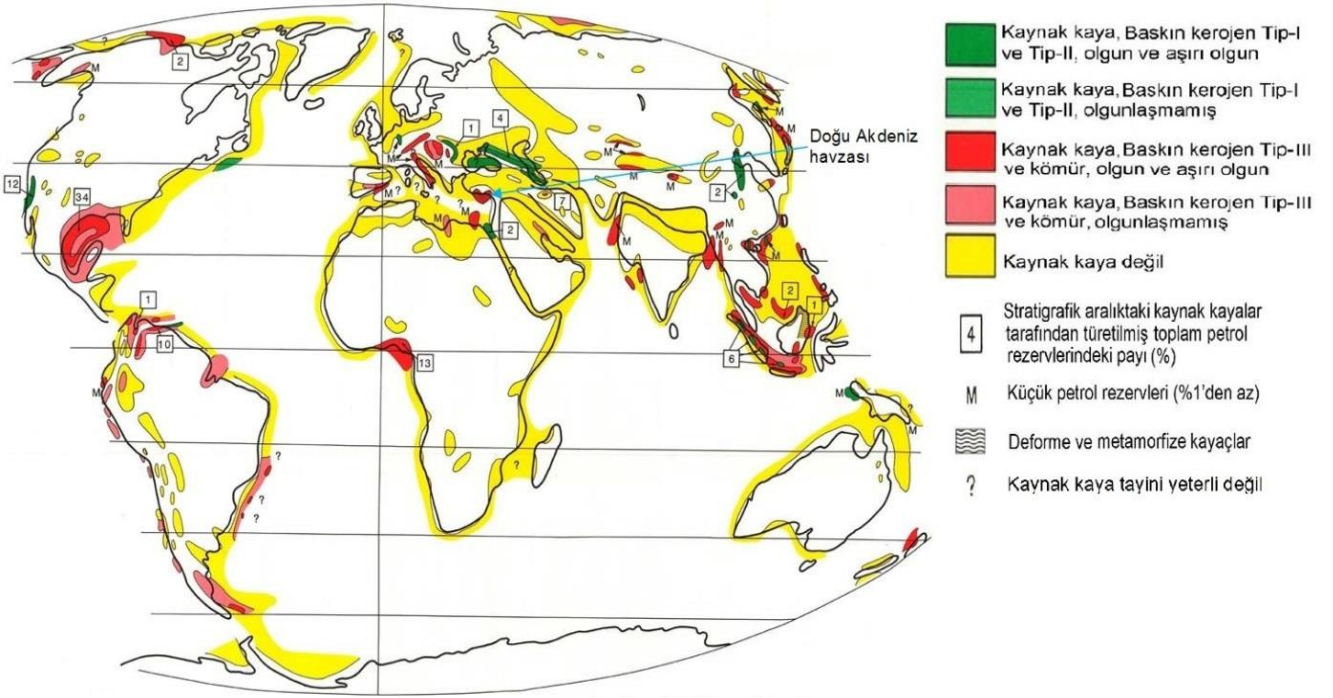
2020a). Çamur volkanları ve petrol sistemleri arasındaki yakın ilişki, birçok çalışmada kanıtlanmıştır (Guliev ve Feizullayev, 1996; Planke ve diğ., 2003; Guliev ve diğ., 2003; Stadnitskaia ve diğ., 2007; Mazzini ve diğ., 2009; Nakada ve diğ., 2011; Tassi ve diğ., 2012; Bonini ve diğ., 2013; López-Rodríguez ve diğ., 2014; Oppo ve diğ., 2014; Oppo ve Capuzzi, 2015; Mazzini and Etioppe, 2017; Alizadeh ve diğ., 2017; Babadi ve diğ., 2020; Özdemir ve diğ., 2020a). Dolayısıyla, Amsterdam, Atina, Kazan, Kula ve Selanik çamur volkanları, Doğu Akdeniz Havzası'ndaki büyük hidrokarbon kaynaklarının varlığı için kanıttır. Doğu Akdeniz'deki çamur volkanları (literatürde Anaximander Dağları olarak da tanımlanmaktadır), Lykousis ve diğ. (2009) ve Deyhle ve diğ. (2003)'nin çalışmalarında incelenmiştir (Şekil 27 ve 28). Özdemir ve diğ. (2020a), Akdeniz, Karadeniz ve Marmara Denizi havzalarının hidrokarbon potansiyelini detaylı olarak değerlendirmiş olup, deniz havzalarındaki en önemli petrol ve doğalgaz potansiyel alanlarının çamur volkanları etrafında bulunduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 26. Bir çamur volkanı kökeninin şematik gösterimi (Nakada ve diğ., 2011).



Şekil 27. Doğu Akdeniz Havzası'ndaki çamur volkanları (Lykousis ve diğ., 2009).



Şekil 28. Türkiye'nin Oligosen - Miyosen dönemi petrol kaynak kaya haritası (Ulmishek ve Klemme, 1990'den).

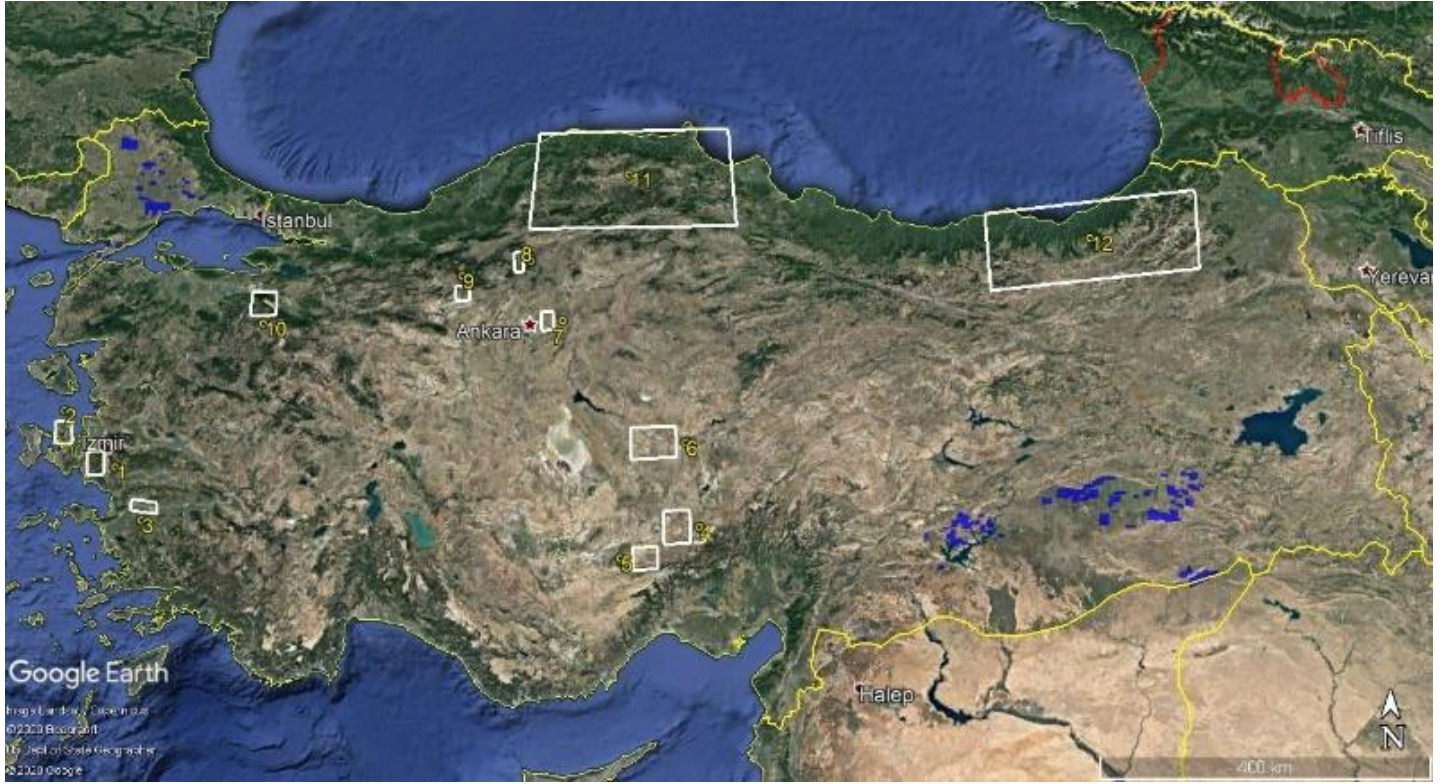
#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada sunulan paleocoğrafik ve paleotektonik veriler ve yorumlarımız, Türkiye'nin kara ve deniz alanlarının Paleozoyik - Miyosen aralığında oluşmuş zengin bir petrol kaynak kaya varlığına sahip olduğunu göstermektedir. Ordovisyen-Siluriyen, Devoniyen-Karbonifer, Permiyen-Triyas, Jura-Kretase, Paleosen ve Oligosen-Miyosen kaynak kaya oluşumu açısından önemli jeolojik dönemlerdir. Türkiye'nin bugünkü kara alanlarını oluşturan mikrokıtalar, Üst Siluriyen (mikrokıtaların tümü), Permiyen-Triyas (Sakarya, Pontidler, Toroslar ve Arap Platformu), Jura-Kretase (Pontidler) zaman aralığında riftleşmeye maruz kalmış ve bir rift havzası veya riftli

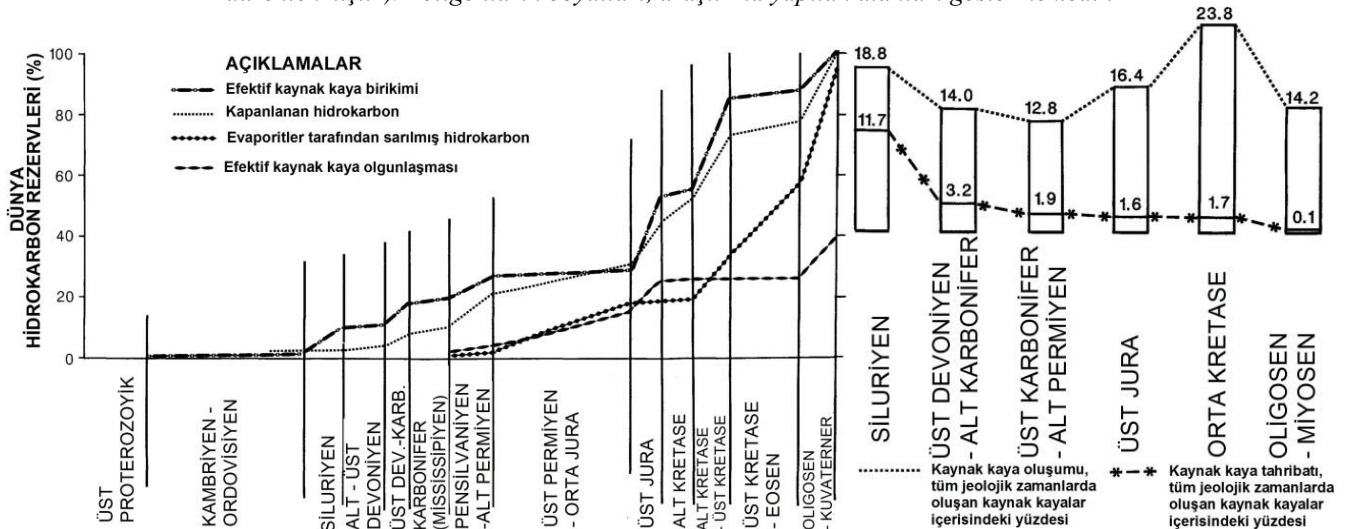
kıta kenarı (Orta Anadolu Kristalen Kompleksi - Kırşehir, Doğu Anatolid - Torid/Güney Ermeni Bloğu, Sakarya, Sanandaj - Sirjan ve Toros) oluşmuştur (Sakarya ve Pontidlerin kuzey bölümünde yaygerisi havzalar). Sorkhabi (2010); Özdemir (2019a,b), Özdemir ve Palabıyık (2020a), rift havzaları ve riftli kıta kenarlarını petrol kaynak kayası oluşum ortamları olarak belirtmişlerdir. Özdemir (2019a-c), Palabıyık ve diğ. (2019, 2020), Karataş ve diğ. (2019), Palabıyık ve Özdemir (2020), Özdemir ve Palabıyık (2020b), Özdemir ve diğ. (2020b-d)'nin çalışmalarında, rift havzaları ve riftli pasif kıta kenarları içeren Batı, Orta ve Kuzey Anadolu'da tespit edilen olgun petrol hidrokarbonları, bu kanyı desteklemektedir (Şekil 29). Bu çalışmanın sonuçları, ülke genelinde çok sayıda hidrokarbon sızıntısının bulunduğunu belirten Palabıyık ve Özdemir

(2019)'un ve ofiyolit varlığına göre Türkiye'nin önemli bir petrol ve doğalgaz potansiyeli bulunduğunu ileri süren Özdemir ve Palabıyık (2020a)'nın çalışmalarının sonuçları ile de uyumludur. Dolayısıyla, ülke genelindeki çok sayıda hidrokarbon sızıntısının kaynağı, farklı jeolojik dönemlerde oluşmuş kaynak kayalardır/rezervuarlardır. Çalışmanın sonuçları, Özdemir ve diğ. (2020a)'nın Türkiye'nin Akdeniz, Karadeniz ve Marmara denizlerinin petrol ve doğalgaz potansiyelini incelediği çalışmanın sonuçları ile de uyumlu içerisindedir.

Kümülatif diyagram (Şekil 30), kaynak kayaların birikme, olgunlaşma ve türeyen petrolerin kapanlanma aşamalarını özetlemektedir. Bu diyagrama göre, dünyanın efektif kaynak kayalarının dörtte birinden biraz fazlası Alt Permiyen - Üst Jura zaman aralığında çökelmiştir (Şekil 5, 6 ve 30). Dolayısıyla, Permiyen - Jura birimleri yaygın olan Türkiye, bu açıdan da şanslıdır.



Şekil 29. Türkiye'de son yıllarda yapılan çalışmalarda, olgun ve aşırı olgun petrol hidrokarbonları varlığı belirlenmiş olan bölgeler. Haritadaki Bölgeler; 1. Seferihisar Yükselimi (İzmir), 2. Karaburun Yarımadası (İzmir), 3. Büyük Menderes Grabeni (Aydın), 4. Ulukışla Havzası (Niğde), 5. Niğde Masifi, 6. Kızılırmak Grabeni (Nevşehir), 7. Hasanoğlan ve Mamak Bölgeleri (Ankara), 8. Kızılcahamam (Ankara), 9. Beypazarı Neojen Havzası (Ankara), 10. Uludağ Masifi (Bursa), 11. Orta Karadeniz, 12. Doğu Karadeniz, mavi poligonlar: ülkemiz kara alanlarındaki petrol ve doğalgaz üretim sahaları (Özdemir, 2019a-c, Palabıyık ve diğ., 2019, 2020; Karataş ve diğ., 2019, Palabıyık ve Özdemir, 2020; Özdemir ve Palabıyık, 2020b ve Özdemir ve diğ., 2020b-d'den düzenlenmiştir). Poligonların boyutları, araştırma yapılan alanları göstermektedir.



Şekil 30. Efektif petrol ve doğalgaz kaynak kayalarının jeolojik devirlere göre birikme, olgunlaşma ve türetilmiş petrol ve doğalgazın kapanlanma aşamaları (Klemme ve Ulmishek, 1990; Ulmishek ve Klemme, 1991).

Ulmishek ve Klemme (1990), Klemme ve Ulmishek (1991), Palabıyık ve Özdemir (2019), Palabıyık ve Özdemir (2020)'in çalışmaları da, Alpin tektoniğinin gerek kaynak kayaların olgunlaşma gerekse kapanlanma sürecine olumlu yönde etkilediğini göstermektedir (Şekil 2 ve 29, 30). Dolayısıyla, Alpin orojenezi ile Türkiye kara alanlarında çeşitli jeolojik dönemlerde oluşmuş olan kaynak kayaların aşındığı veya rezervuarların tahrip edildiği yorumu da bu şekilde çürütülmektedir. Ayrıca, Özdemir ve Palabıyık (2019a-c), Özdemir (2020) ve Özdemir ve diğ. (2020b) çalışmalarında, işletilebilir boyuttaki metalik maden yatakları ile hidrokarbonlar arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu çalışmalarda, petrol ve doğalgaz rezervuarları ile metalik maden yatakları arasında yakın bir ilişki olduğu belirtilmiştir. Hem kaynak kayaların hem de petrol kaynaklarının (ham petrol vb.) yüksek miktarda metal içeriğine sahip olduğu da bildirilmiştir. Çalışmaların sonuçları göre, bölgesel ölçekte hem metalik maden yatakları hem de hidrokarbon rezervuarları ve/veya emareleri genel olarak havzanın aynı tektonik birimleri tarafından sınırlandırılmakta ve benzer yapılar (özellikle bölgesel antiklinal, dom veya paleo-yükselimler) tarafından kontrol edilmektedir. Diyajenez sırasında, sediman gözeneklerinden ayrılan hidrokarbonlar ve metalik maden cevherlerinin aynı hidrotermal akışkan tarafından birlikte taşınması ve biriktirilmesi sonucunda oluştuğunu, dolayısıyla metalik maden cevherleri ve yan kayaçlardaki organik maddenin ortak bir kaynağa sahip olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifade ile, bir sedimanter havzadaki organik maddece ve metallerce zengin sedimanlar, hem metalik maden yatakları hem de petrol rezervuarları için ortak kaynak olarak kullanılmaktadır. Topoğrafik yükselme ve havzanın sıkışması sonucunda sıklaşan sedimanlardan türeyen metalleri ve hidrokarbon içeren akışkanlar, akiferler boyunca göç etmekte; ana ve alt havzadaki faylar boyunca havzanın kenarlarına ve paleo-yükselime yönelmektedir. Böylece, farklı çökme ve kapanlanma mekanizmaları ile karakterize edilen havzanın farklı alt bölümlerindeki metalik maden yatakları ve hidrokarbon rezervuarlarını oluşturmaktadırlar. Metalik maden yatakları; faylar, kırık bölgeleri ve uyumsuzluk yüzeyleri ile cevherli akışkanların uygun jeokimyasal bariyerlerle karşılaştığı alanlarda çökeltmektedir. Hidrokarbonlar ise, stratigrafik, litolojik ve yapısal kapanlarda birikmektedir. Aynı çalışmalarda, işletilebilir boyutta bir yataklanma oluşturabilmiş metalik madenlerin bulunduğu alanlarda, bu metalik maden yataklarının petrol ve doğalgaz aramak için sığ ve güvenilir bir belirteç olarak kullanılabilceği belirtilmiştir. Türkiye genelinde, işletilebilir boyutta çok sayıda metalik maden yatağı bulunmaktadır. Dolayısıyla, bu veri Türkiye'nin çeşitli jeolojik dönemlere ait kaynak kaya zenginliğine sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, bu çalışmanın sonuçları ile de uyumludur.

Organik maddece zengin kayaçların ve hidrokarbonların/petrollerin yaşları, Re-Os izotop sistemi ile doğrudan belirlenebilmektedir (Özdemir ve Palabıyık, 2020c). Organik maddece zengin kayaçların ve hidrokarbonların, Re-Os izotop jeokimyası ile jeolojik yaşlarının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Son yıllarda, gerek Maden ve Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) gerekse Turkish Petroleum International Company (TPIC) tarafından ülke genelinde 1500 m derinliğe kadar her yıl milyon metre düzeyinde karotlu sondajlar yapılmıştır. Bu sondajların karotları, Türkiye Yerbilimleri Veri ve Karot Bilgi Bankası'nda depolanmaktadır. Dolayısıyla, bu karotlardaki organik maddece zengin kayaç seviyelerinde gerek Re-Os izotop gerekse organik jeokimyasal analizler yapılarak,

organik maddece zengin kayaçlar buldukları havzadaki/bölgedeki tektonik geçmiş ve yapılar ile ilişkilendirilebilirler.

Türkiye kara alanlarının çoğunluğu genç alüvyonlar, genç volkanikler, ofiyolitler ve ofiyolitik melanjlarla kaplıdır. Bu nedenle, Türkiye kara alanlarının klasik jeokimyasal yöntemlerle (kaynak kaya hedefli) araştırılabilme olanağı son derece sınırlıdır. Sonuç olarak, Türkiye'de yapılacak gelecek hidrokarbon aramalarında işletilebilir boyutta metalik maden yataklarının veya hidrokarbon sızıntılarının/emarelerinin bulunduğu alanlarda Özdemir (2019a-c), Özdemir ve diğ. (2020b-d), Palabıyık ve Özdemir (2020), Özdemir ve Palabıyık (2020b) çalışmalarında uygulanan suda TPH analizi yönteminin kullanılması daha uygun olacaktır. Sonraki süreç ise, bu alanlarda petrol ve doğalgaz sahalarının keşfedilebilmesi için daha detaylı jeolojik ve jeofizik çalışmaların (özellikle sondaj) yapılmasıdır.

## Kaynakça

- Akyazı, M., 2001. Calpionellid'ler. Mavi Gezegen Dergisi, 5, 70-73
- Akyazı, M. ve Tunç, M., 2007. Doğu Pontidlerde yüzeyleyen Titonik fasiyesteki kireçtaşlarının biyostratigrafik karşılaştırması. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 24(1-2), 19-46
- Alizadeh, A.A., Guliyev, I.S., Kadırov, F.A., and Eppelbaum, L.V., 2017. Mud Volcanism. in Geosciences of Azerbaijan Volume I: Geology. Springer, 215-233.
- Alkhafaji, M.W., 2017. Organic petrology of Ora formation in Akkas field, western Iraq. Tikrit Journal of Pure Science, 22 (9), 76-82
- Alsharhan, A.S. and Nairn, A.E.M., 2003. Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East. Elsevier, 843 p.
- Ay, F., 2015. Kozan-Düzağaç (Adana) civarındaki bitümlü şeyllerin organik fasiyes özellikleri ve hidrokarbon kaynak kaya potansiyelleri, S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., 3(3), 25-36
- Ayhan, A., 1988, Kozan-Elmadağı (Adana) arasının jeolojisi (Doğu Toroslar). İst. Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 6 (1-2), 37-56
- 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>
- Bonini, M., Tassi, F., Feyzullayev, A.A., Aliyev, C.S., Capecciacci, F., and Minissale, A., 2013. Deep gases discharged from mud volcanoes of Azerbaijan: New geochemical evidence. Marine and Petroleum Geology, 43 450-463
- Brikman, R., 1976. Geology of Turkey. Elsevier. 157 p.
- Burşuk, A., 1992. Bayburt ve Kop dağları (KB Erzurum) yöresindeki calpionellid biyozonları (Üst Jurasik-Alt Kretase). Türkiye Jeoloji Bülteni, 35,127-140
- Cunningham, R., Snedden, J.W., Norton, I.O., Olson, H.C., Whitaker, T.L. and Virdell, J.W., 2016. Upper Jurassic Tithonian-centered source mapping in the deepwater northern Gulf of Mexico. Interpretation, 4(1), SC97-SC123. <http://dx.doi.org/10.1190/INT-2015-0093.1>
- Dean, W.T. and Monod, O., 1990. Revised stratigraphy of lower Paleozoic rocks, Eastern Taurus mountains, south central Turkey, Geol. Mag., Great Britain, 127 (4), 333-347



- Demirtaşlı, E., 1967. Pınarbaşı-Sarız-Mağara ilçeleri arasındaki sahanın litostratigrafi birimleri ve petrol imkânları, MTA Rap. No: 3489 (Yayımlanmamış)
- Derman, A.S., 2014. Petroleum systems of Turkish basins. in Marlow, L., Kendall, C. and Yose, L. (eds.), Petroleum Systems of the Tethyan Region: AAPG Memoir 106, 469-504
- Deyhle, A. Kopf, A.J. and Aloisi, G., 2003. Boron and boron isotopes as tracers for diagenetic reactions and depth of mobilization, using muds and authigenic carbonates from eastern Mediterranean mud volcanoes. Van Rensbergen, P., Hilhs, R.R., Maltman, A.J. and Morley, C.K. (eds), Subsurface Sediment Mobilization. Geological Society, London, Special Publications, 216, 491-503
- Görür, N., Şengör, A.M.C., Okay, İ.A., Özgül, N., Tüysüz, O., Sakınç, M., Akkök, R., Yiğitbaş, E., Genç, T., Orçen, S., Ercan, T., Akyürek, B. ve Şaroğlu, F., 1998. Türkiye'nin Triyas-Miyosen Paleocoğrafya Atlası. İstanbul Teknik Üniversitesi - Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 55 s.
- 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
- Guliev, I.S., Mamedov, P.Z., Feyzullayev, A.A., Huseynov, D.A. Kadirov, F.A., Aliyeva, E.H.-M., Tagiyev, M.F., 2003. Hydrocarbon Systems of The South Caspian Basin. Baku, Nafta-Press, 206 p.
- Golonka, J., 2004. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic. Tectonophysics, 381, 235-273
- Gourvenec, R. and Hoşgör, I., 2012. New record of a Middle Devonian brachiopod fauna from the Northern Arabian Plate, Zap Anticline, Çukurca-Hakkari, Southeastern Turkey. Bulletin of Geosciences 87(2), 347-358
- Hood, K.C., Wenger, L.M., Gross, O.P. and Harrison, S.C., 2002. Hydrocarbon systems analysis of the northern Gulf of Mexico: Delineation of hydrocarbon migration pathways using seeps and seismic imaging, in Surface exploration case histories: Applications of geochemistry, magnetics, and remote sensing, D. Schumacher and L. A. LeSchack, eds., AAPG Studies in Geology No. 48 and SEG Geophysical References Series No. 11, 25-40.
- Irving, E., 1974. Oil, climate, and tectonics. Canadian Journal of Earth Sciences, 11(1), 1-17
- İnan, A., 1982. Azerbaycan'ın çamur volkanları. Yeryuvarı ve İnsan, 7(1), 4-5
- Jassim, S.Z. and Al-Gailani, M., 2006. Hydrocarbons. Geology of Iraq (Saad Z. Jassim and Jeremy C. Goff, eds.) 326 - 354
- Jenkyns, H.C., 2010. Geochemistry of oceanic anoxic events. Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 11(3), 1-30
- Karataş, A., Özdemir, A. ve Şahinoğlu, A., 2019. Karaburun Yarımadası ve Seferihisar Yükseliminin (Batı Anadolu) Petrol ve Doğal Gaz Potansiyelinin İyot Hidrojeokimyası ve Suda Petrol (TPH) Analizi ile İncelenmesi, Marmara Üniversitesi, Bilimsel Araştırma ve Geliştirme Projeleri Koordinasyon Birimi, Proje No (9505): SOS-A-100719-0267 (Yayımlanmamış)
- Kendall, C.G.C., Alsharhan, A.S. and Marlow, L., 2014. Stratigraphy and depositional systems of the Southern Tethyan region, in L. Marlow, C. Kendall, and L. Yose, eds., Petroleum systems of the Tethyan region: AAPG Memoir 106, 29-57
- Klemme, H.D. and Ulmishek, G.F., 1990. Effective petroleum source rocks of the world: Stratigraphic distribution and controlling depositional factors. AAPG Bulletin, 75(12), 1809-1851
- 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
- Luning, S., Craig, J., Loydell, D.K., Storch, P. and Fitches, B., 2000. Lower Silurian 'hot shales' in North Africa and Arabia: regional distribution and depositional model. Earth-Science Reviews, 49, 121-200
- Lykousis, V., Alexandri, S., Woodside, J., de Lange, G., Dahlmann, A., Perissoratis, C., Heeschen, K., Ioakim, Chr., Sakellariou, D., Nomikou, P., Rousakis, G., Casas, D., D. Ballas and Ercilla, G., 2009. Mud volcanoes and gas hydrates in the Anaximander mountains (Eastern Mediterranean Sea). Marine and Petroleum Geology, 26, 854-872
- 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
- Mazzini, A. and Etiope, G., 2017. Mud volcanism: An updated review. Earth-Science Reviews, 168, 81-112
- Metin, S., 1984. Doğu Toroslar'da Develi-Saimbeyli arasındaki jeolojisi. İst. Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 16 (1), 82-100
- Meulenkamp, J.E. and Sissingh, W., 2003. Tertiary paleogeography and tectonostratigraphic evolution of the Northern and Southern Peri-Tethys platforms and the intermediate domains of the African-Eurasian convergent plate boundary zone. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 196, 209-228
- Moix, P., Beccaletto, L., Kozur, H.W., Hochard, C., Rossetlet, F., and Stampfli, G.M., 2008. A new classification of the Turkish terranes and sutures and its implication for the paleotectonic history of the region. Tectonophysics, 451, 7-39
- Monod, O., Kozlu, H., Ghienne, J.-F., Dean, W.T., Günay, Y., Le He'risse', A., Paris, F. and Robardet, M., 2003. Late Ordovician glaciation in southern Turkey. Terra Nova, 15(4), 249-257
- 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
- Okay, A.I., 2008. Alpine-Himalayan blueschists. Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 17, 55-87
- Okay, A. and Göncüoğlu, C. 2004. The Karakaya complex: A review of data and concepts. Turkish Journal of Earth Sciences, 13, 77-95
- 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
- Oppo, D. and Capozzi, R., 2015. Spatial association of mud volcano and sandstone intrusions, Boyadag anticline, Western Turkmenistan. Basin Research, 1-13, doi: 10.1111/bre.12136

- Onalan, M., 1986, Amanos dağlarındaki Alt Paleozoyik çökellerinin çökme ortamları ve bölgenin paleocoğrafik evrimi, T.J.K. Bülteni, 29, 49-63
- Özgül, N., Metin, S. ve Dean, W.T. 1973. Tufanbeyli dolayının Kambriyen-Tersiyer kayaları. TJK Bülteni, 16 (1), 82-100
- Özgül, N. ve Kozlu, H., 2002. Kozan-Feke (Doğu Toroslar) yöresinin stratigrafisi ve yapısal konumu ile ilgili bulgular. TPJD Bülteni, 14, 1, 1-36
- Özdemir, A., 2019a. Hasanoğlan (Ankara) petrol sisteminin organik hidrojeokimyasal kanıtları. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(6), 748-763
- Özdemir, A., 2019b. Mamak (Ankara) çalışan petrol sisteminin jeokimyasal kanıtı olarak olgun hidrokarbonca zengin sular ve bölgedeki potansiyel kapan alanı. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 17, 244-260
- Özdemir, A., 2019c. Büyük Menderes grabeni (Batı Anadolu) Neojen öncesi petrol sisteminin organik hidrojeokimyasal kanıtları ve potansiyel kapanlar. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 16, 325-354
- Özdemir, A., 2020. Kurşun ve çinko yataklarının hidrokarbon aramacılığındaki rolü. Caucasian Journal of Science, 7 (1), 56-71
- Özdemir, A. and Palabiyik, Y., 2019a. 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
- Özdemir, A. ve Palabiyik, Y., 2019b. Significance of relationships between hydrocarbons and metallic ore deposits in oil and gas exploration: Part II. Copper deposits. BİLTEK Uluslararası Bilim, Teknoloji ve Sosyal Bilgilerde Güncel Gelişmeler Sempozyumu, 21-22 Aralık 2019, Ankara, 230-239
- Özdemir, A. ve Palabiyik, Y., 2019c. 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 Güncel Gelişmeler Sempozyumu, 21-22 Aralık 2019, Ankara, 219-229
- Özdemir, A. ve Palabiyik, Y., 2020a. 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 (baskıda)
- Özdemir, A. ve Palabiyik, Y., 2020b. Doğu Pontidler'de olasılıkla Jura-Kretase riftleşmeleri ile ilişkili hidrokarbon oluşumu ve türümü için bulgular. 4. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi, 28-30 Eylül 2020 (baskıda)
- Özdemir, A. ve Palabiyik, A., 2020c. Organik Maddece Zengin Kayaların ve Hidrokarbonların/Petrollerin Yaşlarının Doğrudan, Oluşum, Göç ve Birikme Koşullarının Belirlenmesi için Kullanılan İki Yeni İzotop Sistemi: Re-Os ve İyot-129 İzotopları. Doğru, M.S. (Editör), Enerji Araştırmaları, İksad Yayınevi, 87-142 (baskıda)
- Özdemir, A., Palabiyik, A. ve Karataş, A., 2020a. Türkiye Denizlerinin Petrol ve Doğalgaz Potansiyeli, Gelecek Hidrokarbon Araştırmaları için Hedef Alanlar ve Sondaj Lokasyonları. Enerji Araştırmaları (Editör: Neşeli, S.), İksad Yayınevi, 53-123
- Özdemir, A., Karataş, A., Palabiyik, Y., Yaşar, E., and Sahinoglu, A., 2020b. Oil and gas exploration in Seferihisar Uplift (Western Turkey) containing an operable-size gold deposit: Geochemical evidence for the presence of a working petroleum system. Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources, 6(1), Doi: 10.1007/s40948-020-00152-2
- Özdemir, A., Palabiyik, Y., Karataş, A. and Sahinoglu, A., 2020c. Organic geochemical evidence of the working petroleum system in Beypazari Neogene Basin and potential traps (Northwest Central Anatolia, Turkey). Turkish Journal of Geosciences, 1(2), 35-52
- Özdemir, A., Palabiyik, Y., Karataş, A. and Sahinoglu, A., 2020d. Suda Toplam Petrol Hidrokarbonları (TPH) analizi ile Kızılırmak Grabeni'nin (Nevşehir) hidrokarbon potansiyelinin araştırılması. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi (baskıda)
- Palabiyik, Y. ve Özdemir, A., 2019. Oil and gas seeps in Turkey: A review. VII. Uluslararası Fen, Mühendislik ve Mimarlık Bilimlerinde Akademik Çalışmalar Sempozyumu, 15 - 17 Kasım 2019, Ankara, 726-740
- 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)
- Palabiyik, Y., Özdemir, A. ve Şahinoğlu, A., 2019. Uludağ Masifi'nin (Kuzeybatı Anadolu) Petrol ve Doğal Gaz Potansiyelinin İyot Hidrojeokimyası ve Suda Petrol Analizi Kullanılarak Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Proje No: 42217 (Yayımlanmamış)
- Palabiyik, Y., Özdemir, A., Karataş, A. ve Özyağcı, M., 2020. Kastamonu ve Sinop (Orta Karadeniz) Civarının Petrol ve Doğal Gaz Potansiyelinin Suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) Analizi Kullanılarak Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Proje No: MGA-2020-42587 (Yayımlanmamış)
- Perinçek D., Duran, O., Bozdoğan, N. and Çoruh, T., 1992. Stratigraphy and paleogeographical evolution of the autochthonous sedimentary rocks in Southeast Turkey. Ozan Sungurlu Symposium, Proceedings. In Tectonics and Hydrocarbon Potential of Anatolia and Surrounding Regions. Turkish Petroleum Corporation - Turkish Association of Petroleum Geologists, 274-305
- 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
- Ruban, D.A., Al-Husseini, M.I. and Iwasaki, Y., 2007. Review of Middle East Paleozoic Plate tectonics. GeoArabia, 12(3), 35-56
- Santamaria-Orozco, D. and Horsfield, B., 2003. Gas generation potential of upper Jurassic (Tithonian) source rocks in the Sonda de Campeche, Mexico. C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, (eds.), The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79, 349-363
- Sayit, K., 2010. Geochemistry and petrogenesis of the oceanic island and subduction-related assemblages from the paleotethyan Karakaya subduction/accretion complex, central and Northwest Turkey. Middle East Technical University, PhD Thesis, 204 p.
- Scotese, C. R., 2001, Atlas of Earth history, Volume 1, Paleogeography, PALEOMAP Project, Arlington, Texas, 52 p.

- Skelton, P.W., 2003. The Cretaceous World. London: Cambridge University Press. 1-350
- Sorkhabi, R., 2010. Why So Much Oil in the Middle East ?. *Geoexpro*, Vol. 7, No. 1
- 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
- Şengör, A.M.C., Lom, N., Sunal, G., Zabcı, C., and Sancar, T., 2019. The Phanerozoic paleotectonics of Turkey. Part I: an inventory. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 1, 1, 91-161
- Tassi, F., Bonini, M., Montegrossi, G., Capecchiacci, F., Capaccioni, B., Vaselli, O., 2012. Origin of light hydrocarbons in gases from mud volcanoes and CH<sub>4</sub>-rich emissions. *Chemical Geology*, 294-295, 113-126
- Tolluoğlu, Ü.A. ve Sümer, E.Ö., 1995. Gondwana kuzeyi Anadolu Mikrokıtası Erken Paleozoyik evrim modeli. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C.38, S. 21-22, 1-22
- Torsvik, T.H. and Cocks, L.R.M., 2011. The Paleozoic paleogeography of central Gondwana. *Geological Society, London, Special Publications*, 357, 137-166, doi: 10.1144/SP357.8
- Tunç, M., 1991. Aktaş (Kızılcahamam) yöresinin pelajik kireçtaşlarının biyostratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 34, 27-42
- Ulmishek, G.F. and Klemme, H.D., 1991. Depositional controls, distribution and effectiveness of world's petroleum source rocks. *U.S. Geological Survey*, 59 p.
- Utmanoğulları, M., 2012. Şirvan-Özpinar (Siirt) Dolayının, Jeolojisi, Yeraltı Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 127 s.
- Wang, C.S., Hu, X.M., Huang, Y.J., Wagreich, M., Scott, R. and Hay, W., 2011. Cretaceous oceanic red beds as possible consequence of oceanic anoxic events. *Sedimentary Geology*, 235(1), 27-37
- Yalçın, M.N. and Yılmaz, I., 2010. Devonian in Turkey - a review. *Geologica Carpathica*, 61(3), 235-253
- Yang, R., Wang, Y. & Cao, J. 2014. Cretaceous source rocks and associated oil and gas resources in the world and China: A review. *Petroleum. Science*, 11, 331-345. DOI: 10.1007/s12182-014-0348-z
- Yılmaz, İ., 2004. Doğu Torosların Mansurlu-Saimbeyli (Adana) Kesiminin Jeolojisi ve Tektonik Özellikleri. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora tezi, 191 s.
- Yılmaz, E. ve Duran, O., 1997. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Otokton ve Allakton Birimler Stratigrafisi Adlana Sözlüğü. TPAO Eğitim Yayınları No: 31, 460 s.
- Zürcher, L., Bookstrom A.A., Hammarstrom, J.M., Mars, J.C., Ludington, S., Zientek, M.L., Dunlap, P., and Wallis, J.C., with contributions from Drew, L.J., Sutphin, D.M., Berger, B.R., Herrington, R.J., Billa, M., Kuşcu, I., Moon, C.J. and Richards, J.P., 2015. Porphyry copper assessment of the Tethys region of western and southern Asia: U.S. Geological Survey Scientific Investigation Report 2010-5090-V, 232 p