

## İyotça Zengin Yüze ve Yeraltı Sularının Oluşum Mekanizmaları ve Petrol ve Doğalgaz Yatakları ile İlişkileri

Adil Özdemir

Adil Özdemir Danışmanlık, Ankara

04.07.2018 Geliş/Received, 07.11.2018 Kabul/Accepted

### Özet

Bu çalışmada, iyotça zengin yüze ve yeraltı sularının oluşum mekanizmaları ve iyotça zengin sular ile petrol sistemleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu amaçla, iyotça zengin yüze ve yeraltı sularına ait yayınlanmış hidrojeokimyasal verileri bulunan Batı Hazar (Azerbaycan), Doğu Hazar (Türkmenistan), Sacramento (ABD), Po (İtalya) ve Joban - Hamadori (Japonya) petrolü havzaları seçilmiştir. Petrol ve doğalgaz yatakları içeren bu havzaların yüze ve yeraltı sularındaki iyot zenginleşmesinin sebebi, derinlerdeki petrol ve doğalgaz yataklarından tektonik, volkanik ve diğer jeolojik olaylar etkisi ile yüze ve yüze yakın bölümlere göç eden iyotça zengin rezervuar suları ve hidrokarbonlardır. İncelenen petrolü havzalardaki soğuk ve sıcak yüze ve yeraltı sularındaki iyot, petrol ve doğalgaz sahası sularındaki iyot ile aynı kökenlidir ve organik maddece zengin kayalardan türemiştir. Dolayısıyla, incelenen petrolü havzaların jeolojik ve hidrojeokimyasal verileri, iyotça zengin yüze ve yeraltı suları (bu sular, aynı zamanda petrol hidrokarbonlarınca da zengindir) ile petrol sistemleri arasındaki yakın ilişkiyi kanıtlamaktadır. Bu yakın ilişki, soğuk ve sıcak yüze ve yeraltı sularında yapılacak iyot analizleri ile petrol ve doğalgaz potansiyeli bilinmeyen bir havzanın potansiyelinin değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bu ilişki, gelecek arama hedeflerinin belirlenmesi açısından da önemlidir.

**Anahtar kelimeler:** İyot, iyotça zengin sular, yeraltı suyu kirliliği, petrol hidrojeolojisi, petrol arama

### Occurrence Mechanisms of Iodine-rich Surface Waters and Groundwaters and Their Relations with Oil and Gas Deposits

#### Abstract

In this study, occurrence mechanisms of iodine-rich surface waters and groundwaters and the relationship between iodine-rich waters and petroleum systems were investigated. For this purpose, Western Caspian (Azerbaijan), Eastern Caspian (Turkmenistan), Sacramento (USA), Po (Italy) and Joban - Hamadori (Japan) petroliferous basins with published hydrogeochemical data of iodine-rich surface waters and groundwaters were selected. Iodine enrichment in the surface waters and groundwaters of these basins, which contain oil and gas deposits, are iodine-rich reservoir waters and hydrocarbons that migrate from the deep oil and gas deposits to the surface and near the surface with the effect of tectonic, volcanic and other

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Adil Özdemir  
(e-posta: adilozdemir2000@yahoo.com)

geological events. Iodine in the surface waters and groundwaters of investigated petroliferous basins are the same origin as iodine in oilfield waters and derived from organic-rich rocks. Therefore, the geological and hydrogeochemical data of investigated basins prove the close relationship between iodine-rich surfaces and groundwaters (these waters are also rich by petroleum hydrocarbons) and petroleum systems. This close relationship shows that the potential of a basin with an unknown potential for oil and gas can be evaluated by iodine analysis on the cold and hot surface waters and groundwaters. This relationship is also important in terms of determining future exploration targets.

**Keywords:** Iodine, iodine-rich waters, groundwater contamination, petroleum hydrogeology, petroleum exploration

## 1. Giriş

1811'de Courtois tarafından deniz yosunlarının posasından elde edilmek suretiyle bulunan iyot, yerkabuğunda çok az miktarda bulunmaktadır. Yerkürenin % 99.6'sı, 32 ana elementten meydana gelmektedir. Geriye kalan % 0.4, 64 iz (eser) element arasında paylaştırılmaktadır. Bu listede 61. sırada olan iyot, yerküre bileşimindeki metal olmayan en nadir elementlerden birisidir (Hora, 2016). Deniz kökenli organik maddece zengin sedimanter kayaçlar ve kayatuzu (halit), karasal ortamdaki iyotun ana doğal kaynaklarıdır (Elderfield ve Truesdale, 1980; Moran ve ark., 1995; Muramatsu ve Wedepohl, 1998). İyot, sedimanter kayaçlarda düşük konsantrasyonlarda (örneğin karbonatlarda < 1 ppm, denizel evaporitlerde < 0.1 ppm) bulunur. Tuz gölleri ya çok az iyot içerir veya hiç iyot içermezler (Warren, 2006). İyot, çeşitli evaporit minerallerinin eser bir bileşenidir ve evaporit (halit) çözünmesinin yeraltı suyuna çok fazla miktarda iyot katkısında bulunması olasılık dahilinde değildir. Deniz suyunda 0.06 mg/lt iyot bulunur. Deniz suyunun 15 kat buharlaşması durumunda dahi, yeraltı sularında 1 mg/lt'yi geçmeyen toplam iyot konsantrasyonu oluşabilir (Means ve Hubbert, 1987).

Kartsev ve ark. (1959), sular içerisindeki iyotun büyük bir miktarının petrol kaynaklı olduğunu belirtmiş ve iyotu petrol için doğrudan bir hidrojeokimyasal belirteç olarak sınıflandırmışlardır. İyot, birçok çalışmada bir petrol ve doğalgaz yatağını keşfetme aracı olarak kullanılmıştır (Ginis, 1966; Kudel'sky, 1977; Gallagher, 1984; Allexan ve ark., 1986; Sing ve ark., 1987; Tedesco ve ark., 1987; Gordon ve Ikramuddin, 1988; Tedesco ve Goudge, 1989; Tedesco, 1995; Leaver ve Thomasson, 2002; Goudge, 2007, 2009; Mani ve ark., 2011; Hummel, 2011). Sedimanter havzalardaki petrol ve doğalgaz yatakları ile bu yatakların bulunduğu havzalardaki iyotça zengin su kaynakları arasındaki ilişki birçok çalışmada kanıtlanmıştır (Collins ve Egleson, 1967; Collins, 1969; Bojarsky, 1970; Schoeneich, 1971; Collins, 1975; Kudel'sky, 1977; Levinson, 1980; Özdemir, 2018a). Bu nedenle havza sularının iyot içerikleri, sularla organik maddece zengin formasyonlar arasındaki etkileşimleri takip etmek için ilk yaklaşım olarak kullanılabilir (Osborn ve ark., 2012).

Bir petrol veya doğalgaz havzasındaki hidrokarbonları türeten kaynak kayaların organik madde içeriği ne kadar yüksek ise, rezervuar formasyon sularındaki iyot miktarı da (dolayısıyla petrol doygunluğu da) o oranda yüksek, su doygunluğu da o oranda azdır. Çünkü formasyon sularında iyot bolluğunun sebebi, havzadaki organik maddenin petrole dönüşmesi sırasında organik maddedeki iyotun çoğunun ilişkideki havza sularına salınmasıdır (Fehn ve ark., 1990; Özdemir, 2018a). Deniz ortamlarında hidrokarbon türümü sırasında ayrılan organik madde miktarı, salınan iyot miktarını etkiler (Fuge ve Johnson, 1986). Dolayısıyla, herhangi bir petrol ve doğalgaz havzasındaki sularda iyot miktarı ne kadar yüksek ise, o havzada bulunacak sahaların rezervleri de aynı oranda yüksek olacaktır. Formasyon sularında

iyot zenginleşmesi, iyotça zengin organik maddenin gömülme geçmişine ilişkin hassas bir göstergedir ve sedimantasyon ve karbon birikme hızlarıyla ilişkilidir. Bu nedenle, dev (giant) petrol ve doğalgaz sahaları bulunan havzalarda sedimantasyon ve karbon birikme hızları yüksek olduğu için iyot miktarı da yüksektir (Kennedy ve Elderfiel, 1987; Özdemir, 2018a). Havza sularındaki iyot miktarının derinliğe paralel olarak artması birçok çalışmada görülmüştür (Tellam, 1995; Xun ve ark., 1997; Özdemir, 2009; Lu ve ark., 2015; Chen ve ark., 2016; Özdemir, 2018a).

Bu çalışmada, iyotça zengin yüzey ve yeraltı sularının oluşum mekanizmaları ve iyotça zengin sular ile petrol sistemleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu amaçla, iyotça zengin yüzey ve yeraltı sularına ait yayınlanmış hidrojeokimyasal verileri bulunan Batı Hazar (Azerbaycan), Doğu Hazar (Türkmenistan), Sacramento (ABD), Po (İtalya) ve Joban - Hamadori (Japonya) petrolü havzaları seçilmiştir. Çalışmada, bu petrolü havzalara ait iyotça zengin soğuk ve sıcak yüzey ve yeraltı sularına ait veriler incelenerek petrol potansiyeli bilinmeyen bir havzadaki soğuk ve sıcak sulara yapılacak iyot analizleri ile petrol ve doğalgaz potansiyeli bilinmeyen bir havzanın potansiyelinin değerlendirilebilme koşulları araştırılmıştır.

## 2. İyotça Zengin Sular

### 2.1. İyotça Zengin Suların Tanımlanması

Havza sularının sınıflandırılması için birçok yöntem önerilmiştir. Su sınıflandırma sistemlerinin çoğu; karbonat, bikarbonat, sülfat, klorür, kalsiyum, magnezyum ve sodyum iyonları arasındaki ilişkiye bağlıdır. Bunun nedeni, bu iyonların birçok rutin su analizinde belirlenen iyonlar olmasıdır. Havzalardaki sular, çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir (Roger, 1917):

- (1) su kaynağına göre; meteorik, fosil veya juvenil sular,
- (2) su kimyasına göre; bikarbonat, sülfat veya klorür sular,
- (3) tuzluluğuna göre; tatlı, tuzlu veya salamura sular.

Meteorik su; atmosferik dolaşımında yer alan su olarak tanımlanmıştır. Meteorik yeraltı suyunun yaşı, çevre kayaların yaşından daha gençtir ve bu sular jeolojik bir zaman diliminde oluşmamıştır (White, 1957).

Deniz suyu; deniz suyunun bileşimi denizden denize farklılık göstermekle birlikte, genel olarak; Cl: 19375 mg/Lt, Br: 67 mg/Lt, SO<sub>4</sub>: 2712 mg/Lt, K: 387 mg/Lt, Na: 10760 mg/Lt, Mg: 1294 mg/Lt, Ca: 413 mg/Lt ve Sr: 8 mg/Lt bileşime sahiptir (Collins, 1975).

Boşluk suyu; sedimanlar veya kaya birimlerinin taneleri arasındaki boşluklarda veya gözeneklerde bulunan sudur. Boşluk suları şunlardır: (1) eş oluşumlu (çevre kayalarla aynı yaşta); veya (2) epijenetik (kayaya sonradan yerleşmiş) (Collins, 1975).

Fosil su; sediman oluşumu sırasında oluşan sudur. Bu nedenle, fosil su muhtemelen eş kökenli bir boşluk suyu olarak düşünülmelidir. Fosil su, bir jeolojik dönemin en azından büyük bir kısmı için atmosferle temas etmeyen su olarak tanımlanmıştır (White, 1957).

Diyajenetik su; hem sediman depolanması öncesinde ve depolanması sırasında, hem de sonrasında kimyasal ve fiziksel olarak değişmiş sulardır. Diyajenetik suların oluşumu,

bakteriyel, iyon değişimi, yer değiştirme/ornatım (dolomitleşme), sızma ve zar filtreleme gibi reaksiyonları içermektedir (Collins, 1975).

Jüvenil su; birincil magma suyu veya birincil magmadan türemiş sudur (White, 1957).

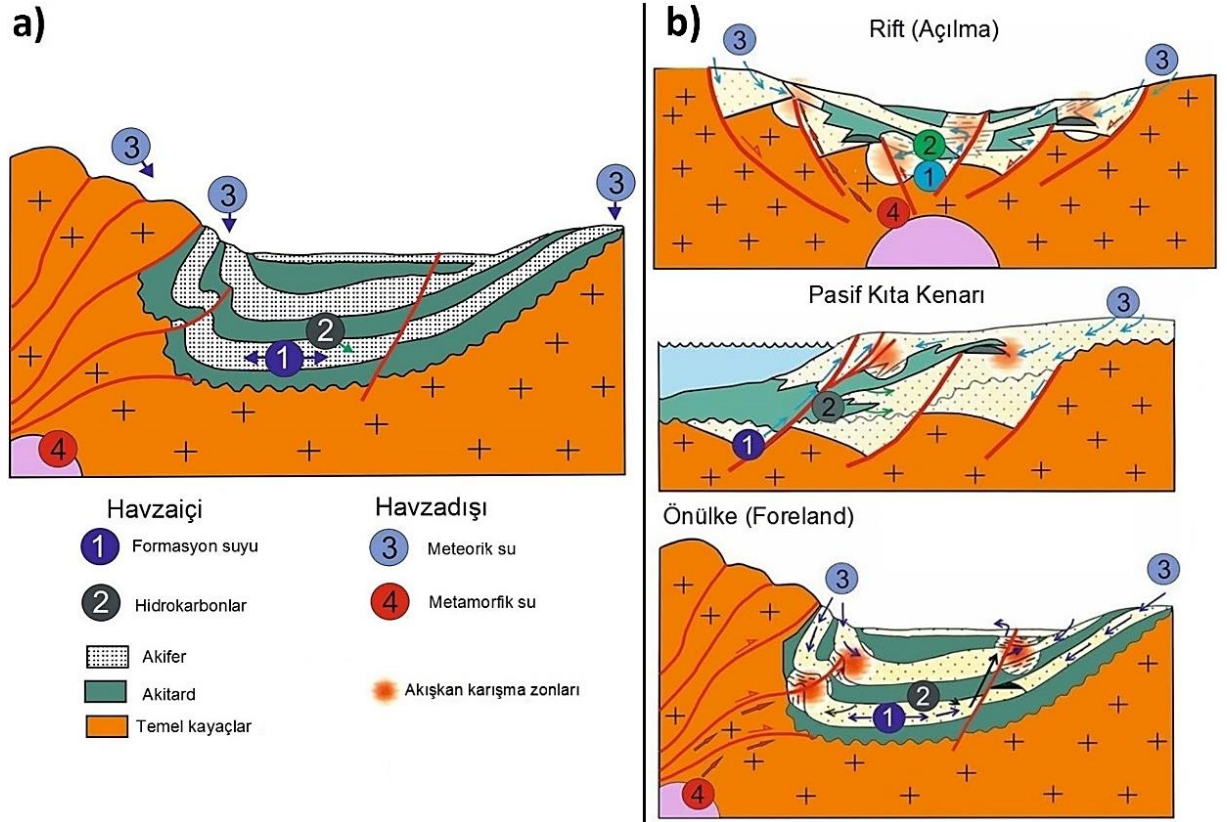
Formasyon suyu; sedimanter kayaçların gözenek alanlarında bulunan tuzlu veya diğer sular için kullanılan bir terimdir. Bu terim, meteorik kökenli yerel suları ve sedimanın çökmesi sırasında gözeneklerinde mevcut olan deniz suyunu kapsamaktadır (Houston, 2007).

Gözenek suları, sedimanlarda ve sedimanter kayaçlarda bulunur ve bileşimi önemli farklılıklar gösterir (Houston, 2007). Sedimanter havzalardaki formasyon suları, egemen olarak yerel meteorik veya denizel kökenlidir. Bununla birlikte; kalıntı sular, jeolojik olarak eski meteorik sular ve farklı kökenli suları içeren karışım suları birçok sedimanter havzanın önemli bileşenleridir (Çizelge 2.1) (Kharaka ve Hanor, 2007).

Çizelge 2.1. Bir sedimanter havzada bulunan akışkan tipleri ve kaynakları (Lawrence ve Cornfordt, 1995)

Üst Grup	Alt Grup	Taban Grup	Diğer Gruplar		Yorumlar
Havza içi akışkanları	Formasyon suyu	Gözenek suyu	Boşluk suyu	Petrol sahası suları, fosil sular	Çökme sırasında hapsedilmiş (kil dehidrasyonu vb. gibi)
		Diyajenetik su	Diyajenez ürünleri		
	Hidrokarbonlar	Gaz		Petrol	Biy- veya termojenik metan olarak bilinen her iki gazda
		Petrol			Termal olarak indirgenmiş, katı bitüm ve gaz
		Katı bitümler		Plastik katılar	Akıcı/plastik akış (tuz veya şeylin akıcı davranışı gibi)
	Akıcı kayaçlar				
	Antropojenik	Yüzey suyu			İçme suyu, atık su gibi
Havza dışı akışkanları	Meteorik veya artezyen su	Yağış			Çözünmüş hava ve bakteriler dahil
		Tektonik olarak yükselmiş su		Hidrotermal	Gözenek suyu
	Metamorfik				Göller vb.
		Su Gazlar			Dehidrasyon reaksiyonlarından (H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , çözünmüş H <sub>2</sub> S)
	Manto	Su	Birincil		Sık kimyasal olarak reaktif
		Metan			Ticari olarak bilinmez

Kayaçlar, yer kuvvetleri (levha tektoniği kuvvetleri, gravite dahil) tarafından tiltlenir ve eğilirler. Bu jeolojik olaylar sonucunda oluşmuş, birçok petrol kapan ve örtü kaya tipi bulunmaktadır. Bu kapan tiplerinin oluşumlarını anlamak, petrol ve doğalgaz rezervuarlarını belirlemeye yardımcı olur. Su, hidrokarbonların birikim ve göçünü etkileyen birincil etkidir. Kompakt sedimanter kayaçlardan akan su, hidrokarbonları bir kapanda birikmeden önce kaynak kayalardan taşır. Deformasyon, havzaların dinamik evriminin önemli bir bileşenidir. Havza oluşum mekanizmasının belirteçleri, yüksek deviyatorik gerilme sebebiyle oluşan faylanma ve kırılma tipleridir (rift havzalarında normal faylar, önülke havzalarında ters ve bindirme fayları, çek-ayır havzalarda doğrultu atımlı faylar). Faylar, sedimanter bir havzanın gelişim sürecinde farklı kökenli akışkanlar için akış güzergahı sağlar (göç) veya bariyer görevi görürler (Şekil 2.1 ve 2.2) (Knipe, 1993; Lawrence ve Cornfordt, 1995).



Şekil 2.1. a) Havza içi akışkanlar; (1) Formasyon suları, düşük metamorfik dehidrasyon reaksiyonları ve diyajenez sırasında türemiş sular tarafından çökelme esnasında hapsedilmiş su, (2) Hidrokarbonlar, organik maddece zengin petrol kaynak kayasından türemiş. Havza dışı akışkanlar; (3) Meteorik sular, yüksek topoğrafik kotlu alanlardan yağış yoluyla gelen sular, (4) Metamorfik akışkanlar, havzadışı ve havza tabanından metamorfik su atımı ile yayılan sular (bu kategoriye, volkanik olaylar ile ilişkili magmatik akışkanlarda dahildir). b) Farklı havza tiplerindeki akışkan rejimi ve karışma zonları (Lawrence ve Cornfordt, 1995).

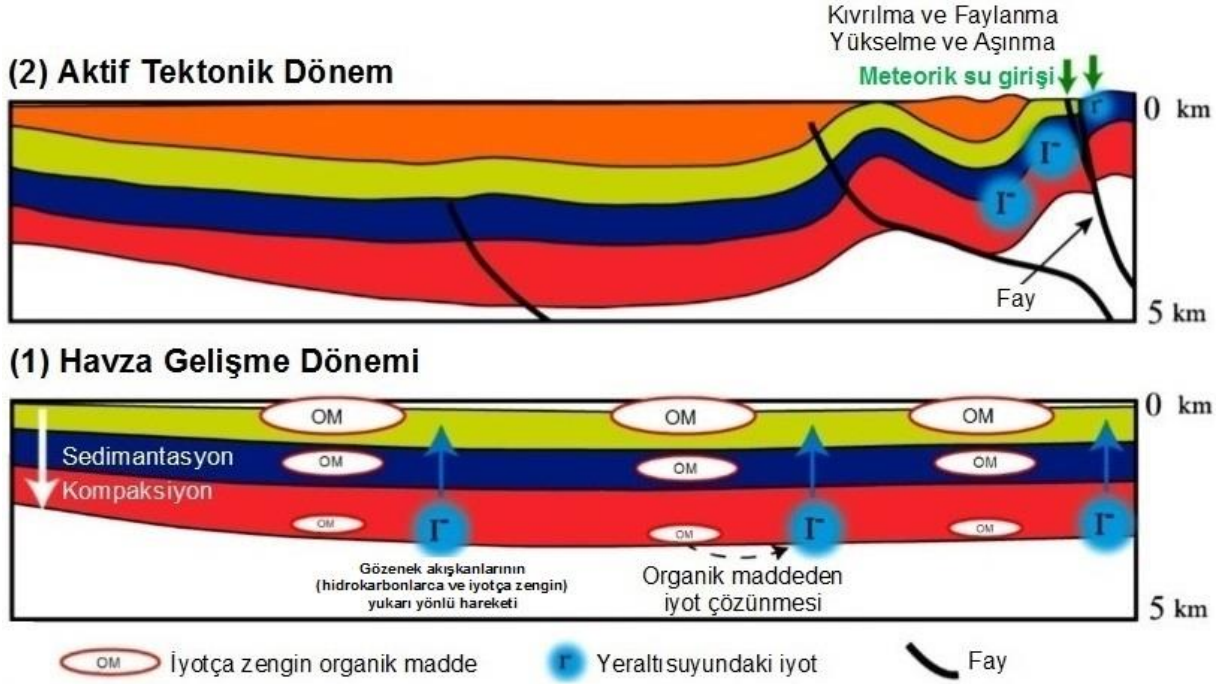
Tüm doğal sularında, karışımlar olduğu için suları net bir tip olarak sınıflandırabilmek mümkün değildir (Şekil 2.3; Rogers, 1917). Suların kimyasal karakterizasyonu, akiferde bulunurluklarını kontrol eden hidrolik koşulların anlaşılmasında önemlidir. İyot, çeşitli hidrojeolojik ortamlarda acı ve tuzlu yeraltı sularının karakterizasyonunda çok değerli bir parametredir. Yeraltı sularında çözünebilir iyot bulunması, yeraltı suyunun ortamsal bir göstergesi olarak kabul edilir ve tatlı ve tuzlu suların karakterizasyonunda (ortamda özellikle deniz suyu varsa) kullanılır (Lloyd ve ark., 1982).



maddedir. Organik maddece zengin sedimanlar veya onların uçucu türevleri (hidrokarbonlar), pek çok sedimenter havzadaki iyotun ana kaynağıdır. Sulardaki iyot miktarı, hidrokarbon yataklarına yakınlık ve gömülme derinliği ile artar (Martin ve ark., 1993; Warren, 2006). İyot ve karbon sistemleri arasındaki biyolojik bağlantı iyi kurulmuştur. Denizel sedimanlardaki organik karbon ve iyot konsantrasyonları arasında güçlü bir ilişki vardır. Şeyller, genellikle 1-20 ppm gibi yüksek iyot konsantrasyonlarına sahiptir. Sedimenter kayalarda bulunan iyot miktarı, herhangi bir kayaç oluşturan mineralde bulunmaz ve killerde adsorbe edilmez. Daha çok korunmuş organik karbon ile ilişkilidir (Cosgrove, 1970; Collins ve ark., 1971). Yüksek iyot konsantrasyonları, birincil organik madde olan kerojen içeren şeyllerde ölçülmüştür (Cosgrove, 1970). Wilke-Dörfurt (1927) ve Cosgrove (1970), Kuzey denizi (İngiltere) petrol ve doğalgaz sahalarının kaynak kayası olan Lias (Posidonia) ve Kimmeridge şeyllerinde yaptıkları çalışmalarında, iyot miktarı ile şeylin petrol ve organik karbon içerikleri arasındaki yüksek pozitif ilişkiyi göstermişlerdir. Şeyllerde iyot miktarı arttıkça, şeylin petrol ve organik karbon içeriği de artmaktadır (Özdemir, 2018a). İyot organik maddenin ayrışması ve sedimantasyon süreçleri boyunca organik karbon ile birlikteliğini korumuş ve termal olgunlaşma sırasında ilişkideki su içerisine salınmıştır. İyot, kapalı sistemlerde organik karbon ile ilişkisini koruduğu için iyotun yaşı aynı zamanda ilişkide olduğu organik maddenin yaşı da olacaktır (Moran ve ark., 1998). Synder ve Fabryka-Martin (2007) formasyon suyunun, suyun üretildiği ortam ve temas halinde olduğu organik madde kaynağı ile aynı <sup>129</sup>I/İ yaşına sahip olduğunu belirtmiştir.

Denizel gözenek akışkanlarındaki halojen incelemeleri, havzalarda gaz hidratlar ile organik bromun büyük miktarının birleştiğini; olgun hidrokarbonlar, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> ile iyotun ise oluştukları havzadan birlikte göç ettiklerini göstermektedir (Fehn ve ark., 2003; Muramatsu ve ark., 2007; Gieskes ve Mahn, 2007; Kendrick ve ark., 2011). Bu nedenle, hidrokarbonların formasyon sularının iyot içeriğini etkileme potansiyeli yüksektir. Bütünleşik asal gaz ve halojen analizleri, hidrokarbonlar ile yeraltı suları arasındaki ilişkilerin anlaşılması için yeni bir yöntem sağlamaktadır. Çünkü, hidrokarbonlar yeraltı sularının iyot içeriğini yükseltmekte ve asal gazlar ile halojenler, hidrokarbonlar ve yeraltı suları arasında bölüşülmektedir (Kendrick ve ark., 2011). Büyük miktarda hidrokarbon birikimi olan sedimenter havza sularındaki iyotun kaynağı, gömülen ve olgunlaştıktan sonra petrole dönüşen ve ortamdaki sulara iyot zenginleşmesine sebep olan organik madde, formasyon sularının toplam iyot konsantrasyonu üzerinde güçlü bir denetime sahiptir. Ayrıca, iyotça zengin bu sular hidrokarbon göçüne aracılık ederler (Chen ve ark., 2016).

İyotça zengin sular, jeolojik zamanlar boyunca petrol türetmiş ve türetmiş olduğu olgun hidrokarbonları hazne kaya içerisine gönderebilmiş kerojen içeren sedimanlardan hidrokarbonlarla birlikte türemiş paleodeniz gözenek sularıdır. Diğer bir ifadeyle, kaynak kayadan hidrokarbonlarla birlikte rezervuar kayaya göçmüş sulardır (Chen ve ark., 2016; Kendrick ve ark., 2011). Denizel organik madde gömüldüğünde, mikrobiyal/ısı ayrışma metan üretir ve iyotu serbest bırakır. Bu süreçte, sedimanlardan göç eden iyot ve metan (CH<sub>4</sub>) birlikte gözenek akışkanlarında yoğunlaşır (Moran ve ark., 1995). Derin gömülü denizel sedimanlardaki sıkışma, iyot bakımından zengin gözenek akışkanlarını kil ve çamurlardan daha iletken olan kumlara iter. Organik maddenin ayrışması, bu işlem koşulları altında yavaş da olsa iyotu gözenek akışkanlarına salar. Denizel çamurların şeyllere diyajenezi, gözenekliliğin yaklaşık % 40'lık başlangıç değerinden % 10'luk veya daha düşük bir gözenekliliğe ve iyot içeriğinde (katı fazda) yaklaşık 50 ppm'den 8 ppm'e kadar azalmaya neden olur (Fabryka-Martin, 1984). İyotça zengin sular, organik maddenin petrole dönüşmesi sırasında organik maddedeki iyotun organik madde ile ilişkideki sulara salınmasıyla oluşmuş sulardır (Şekil 2.4) (Fehn ve ark., 1990).



Şekil 2.4. İyotça zengin yeraltı suyunu oluşturan jeolojik süreçler (Togo ve ark., 2016'dan değiştirilerek). (1) Organik maddenin hidrokarbona dönüşümü ve ilişkideki sulara iyot salınımı, (2) İyotça zengin sular ile hidrokarbonların rezervuara göçü, yerleşimi ve meteorik su ile karışması

Suların iyot konsantrasyonlarındaki artışta, litoloji etkisi belirgindir. Doğu İngiltere'deki Lincolnshire kireçtaşındaki iyot konsantrasyonları okside sulara (0.004 - 0.005 mg/l) sabittir. Ancak, kireçtaşı mostrasından 27 km uzaklıkta redüksiyon koşullarının başlaması ile iyot miktarı 1.14 mg/l't'e kadar yükselmektedir (Edmunds, 1973). Edmunds (1973), bu iyot artışının sebebinin kireçtaşındaki organik madde ile ilişkili iyotun kireçtaşı ile uzun süre ilişkide olan yeraltı suyu tarafından emilmesi olduğunu belirtmiştir. Hidrokarbonlarla ilişkide olmayan yüzey ve yeraltı sularının iyot içerikleri oldukça düşüktür. Bu tip sulara, genellikle eser miktarda iyot bulunur (Çizelge 2.2). Yüzey ve yeraltı suları, deniz suyu, yeraltı tuzlu suları, termal sular, volkanik akışkanlar ve denizel sedimanlardaki gözenek sularının iyot içerikleri Çizelge 2.3'de verilmiştir. En yüksek iyot içeriğine sahip sular, hidrokarbon birikimleri ile ilişkideki sulardır. Üretim yapılan bütün petrol ve doğalgaz havzaları/sahaları formasyon sularında, > 1 mg/l iyot bulunduğu öncel çalışma verilerinden görülmüştür (Özdemir, 2018b; USGS, 2017). Özdemir (2018a), iyot miktarı > 1 mg/l olan suların üretilebilir hidrokarbonlar ile ilişkili sular olduğunu belirtmiştir. İyot miktarı < 1 mg/l olan petrol ve doğalgaz üretim kuyularındaki formasyon suları, > 1 mg/l iyot içeriğine sahip havzalardaki petrol ve doğalgaz üretim sahası sularının havzadaki diğer su tipleri ile karışarak bünyelerindeki iyot içeriği azalmış sulardır (Özdemir, 2018a).



Çizelge 2.2. İçmesuyu olarak kullanılan yeraltı sularındaki iyot miktarı (Fabryka-Martin, 1984)

Lokasyon	Numune Sayısı	İyot Miktarı Aralığı (mg/lt)	Ortalama İyot Miktarı (mg/lt)
Arizona (ABD)	41	0 - 0.05	0.0092
Kansan (ABD)	31	0.0026 - 0.022	0.0107
Massachusetts (ABD)	30	0 - 0.0041	0.0016
Michigan (ABD)	29	0 - 0.065	0.0039
Yeni Zelanda	25	0.00001 - 0.073	0.0042
Çeşitli ABD şehirleri	10	0.0007 - 0.0148	0.0053
Toplam	166	0 - 0.073	0.0062

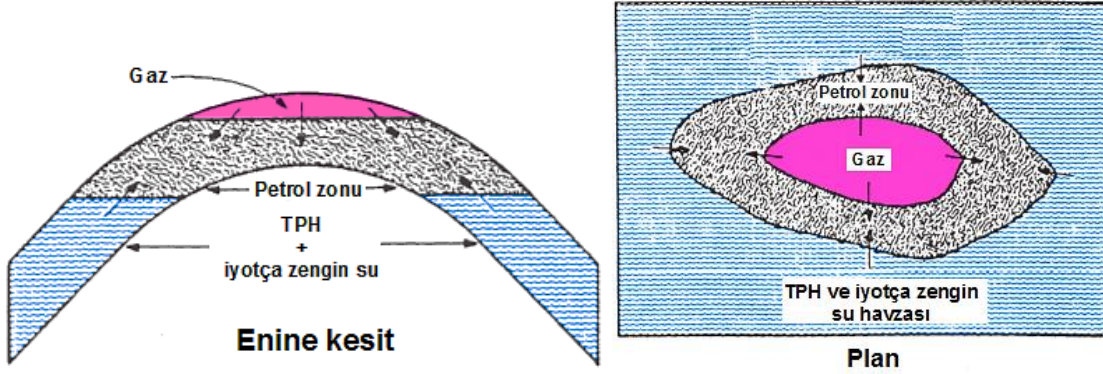
Çizelge 2.3. Farklı su tiplerinin iyot içerikleri (mg/lt)

Referans	Means ve Hubbard (1987)	Kartsev ve ark. (1959)	Dean (1963)	Fehn (2012)
Tatlı yüzey ve yeraltı suları	0.002	0.00001 - 0.001	0.0001 - 0.07	0.0009 - 0.025
Tuzlu yeraltı suları		0.01 - 1	-	-
Deniz suyu	0.06	0.05	-	0.06
Denizel sedimanlardaki gözenek suları	-	-	-	0.1 - 25
Termal sular	-	-	0.2 - 1.2	
Volkanik akışkanlar	-	-	-	0.1 - 11

Volkanik sularda bulunan iyotun iki kaynağı vardır: (1) magmadan gaz çıkışı, (2) yeraltı suyu veya deniz suyunun sıcak magma malzemesiyle etkileşimidir (Fabryka-Martin, 1984). İyot, evaporitler ve organik maddelerce zengin sedimanter kayalardan jeotermal sistemlere geçer (Eroğlu ve Aksoy, 2003). Jeotermal akışkanlardaki yüksek miktardaki iyot zenginleşmesinin petrol sistemleri ile ilişkili olduğu birçok çalışmada kanıtlanmıştır (Fehn ve ark., 1992; Liu ve ark., 1997; Synder ve Fehn, 2002; Fehn ve Synder, 2003; Muramatsu ve ark., 2004; Birkle, 2005; Tomaru ve ark., 2009a; Li ve ark., 2011; Togo ve ark., 2014).

Birincil yöntemlerle üretim yapılan petrol ve doğalgaz rezervuarları, iyotça zengin doğal bir su katmanına sahiptir (Şekil 2.5). İyotça zengin bu su, petrol ve doğalgaz üretim işlemleri sırasında oluşan akışkanın hacimce en büyük kısmını oluşturmaktadır. Üretim sırasında yüzeye petrol ve doğalgaz ile beraber çıkan bu iyotça zengin su, üretilmiş su olarak tanımlanmaktadır (Özdemir, 2018a). Genel olarak doğalgaz kuyularında, petrol kuyularından daha az miktarda su bulunmaktadır (Campos ve ark., 2002; Qiao ve ark., 2008). Petrol ve doğalgaz yatakları içeren havzalardaki yüzey ve yeraltı suları, iyotça zengindir. Özdemir (2018b) çalışmasında, TPH (toplam petrol hidrokarbonları) içeriği > 0.5 mg/lt olan yüzey suları ve yeraltı sularının petrol ve doğalgaz yatakları ile ilişkili sular ve hidrokarbonlarca

(TPH) zengin bu suların aynı zamanda iyotça da zengin olduğu belirtilmiştir (Şekil 2.5). Özdemir (2018a) çalışmasında da, iyot içeriği  $> 1$  mg/lt olan suların doğrudan üretim yapılabilir petrol ve doğalgaz yataklarının belirteci olduğu tespit edilmiştir.

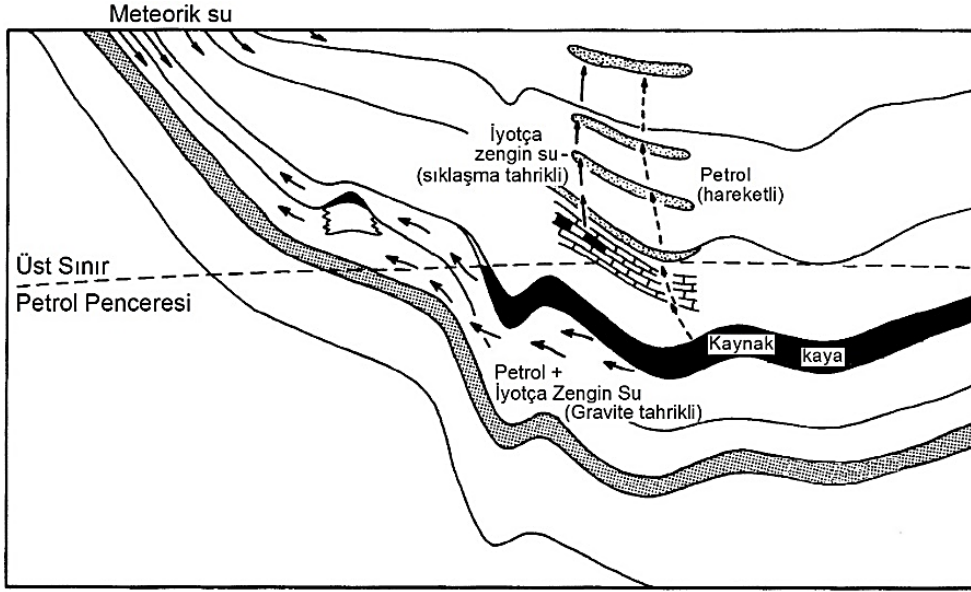


Şekil 2.5. Birincil yöntemlerle üretim yapılan antiklinal bir petrol rezervuarının bileşenleri (Özdemir, 2018b)

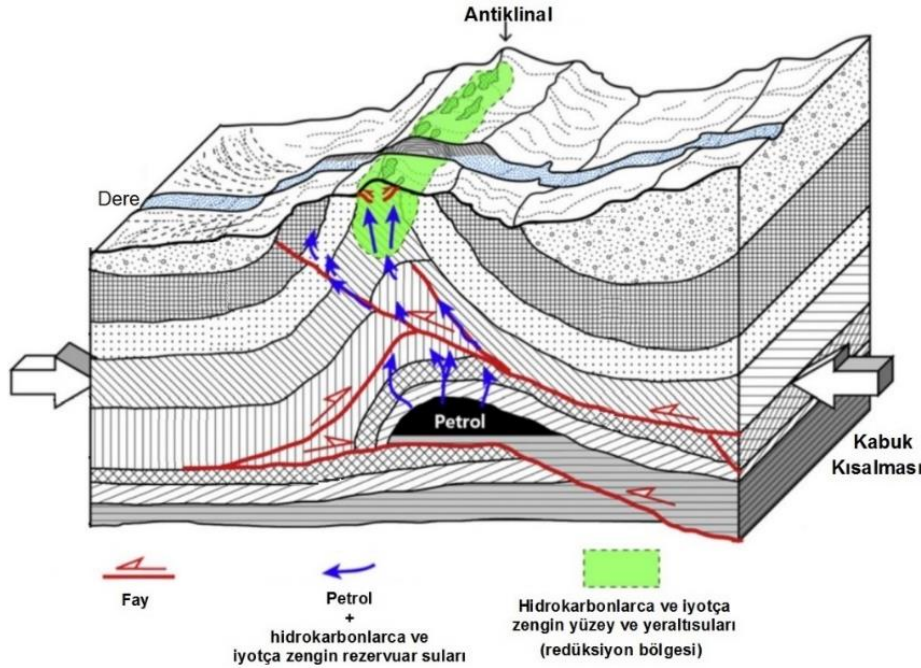
## 2.2. İyotça Zengin Suların Oluşum Mekanizmaları

Petrol ve doğalgaz sahası rezervuar suları, baskın olarak petrol ile ilişkili boşluk suyudur ve muhtemelen tuzludurlar. Ancak, petrol ve doğalgaz yatakları ile ilişkili tatlı sular da vardır. Petrol ile ilişkili sular kapana göç ettikten sonra, rezervuar meteorik sular tarafından istila edilebilir (Coustau, 1977). Ancak, petrol ve/veya doğalgaz rezervuar sularının tamamı iyotça zengindir (Özdemir, 2018a). Özdemir (2018b) hidrokarbonlarca (TPH) zengin suların aynı zamanda iyotça da zengin olduğu belirtilmiştir (Şekil 2.5). Petrol ve doğalgaz yatakları içeren havzaların yüzey ve yeraltı sularındaki iyotun kaynağı, derinlerdeki iyotça zengin rezervuar sularının hidrokarbonlar ile birlikte yüzeye veya yüzeye yakın bölümlere göçüdür (Collins ve Egleeson, 1967; Fabryka-Martin ve ark., 1985, 1987; Moran ve ark., 1995). Derindeki yataklardan yüzeye göç eden iyotça zengin rezervuar suları, havza yüzey ve yeraltı sularında tanımlanabilir iyot miktarı artışlarına sebep olurlar. Sadece ham petrolün, rezervuardan çıkan makro veya mikro petrol sızıntılarının iyotça zengin su oluşturma potansiyeli yoktur. Çünkü, ham petrolün iyot konsantrasyonu  $< 1$  mg/lt'dir (Fehn ve ark., 1987; Tullai ve ark., 1987; Özdemir, 2018a). Sedimanter havzalardaki petrol ve doğalgaz rezervuar sularının derinlerden yeryüzeyine doğru akış mekanizması Land (1991) ve Stueber ve ark. (1993) çalışmalarında kanıtlanmıştır (Şekil 2.6). Moran ve ark. (1995), sedimanter havzalarda akışkan hareketleri ve kaynak yaşı üzerine yaptıkları çalışmalarında iyot, ilişkili hidrokarbonlar ve formasyon suları için uzun mesafeli dikey göç modelini sunmuşlardır.

Bindirme ve kıvrım kuşakları, tepesindeki kutu şekli ve kanatlarda meydana gelen faylar ile ön plana çıkmaktadır. Bunlar, bindirme zonunda hidrokarbonlar için yapısal kapan oluşturan yapılar içerirler. Rezervuardan ayrılarak yüzeye veya yüzeye yakın kısımlara göç eden hidrokarbonlarca ve iyotça zengin suların başlıca göç yolu, bindirme-kıvrım kuşaklarındaki kompleks fay sistemleridir. Bu sular, yüzey ve yeraltı sularında iyot ve petrol hidrokarbonları (TPH) zenginleşmesine sebep olurlar (Özdemir, 2018b). Ayrıca, faylar boyunca yapının tepe kısmına dağılırlar ve bu alanda bir redüksiyon bölgesi oluştururlar (Şekil 2.7).



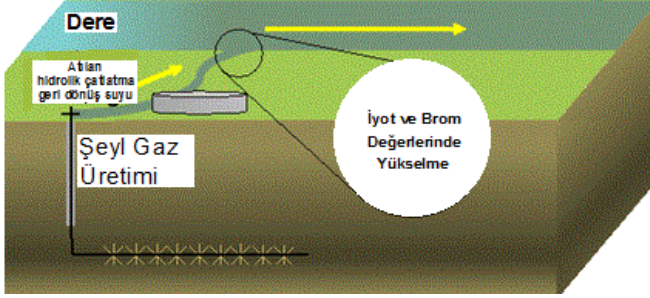
Şekil 2.6. Sedimanter bir havzadaki iyotça zengin akışkanların derinlerden yeryüzeyine doğru akış mekanizması (Stueber ve ark., 1993'den düzenlenmiştir)



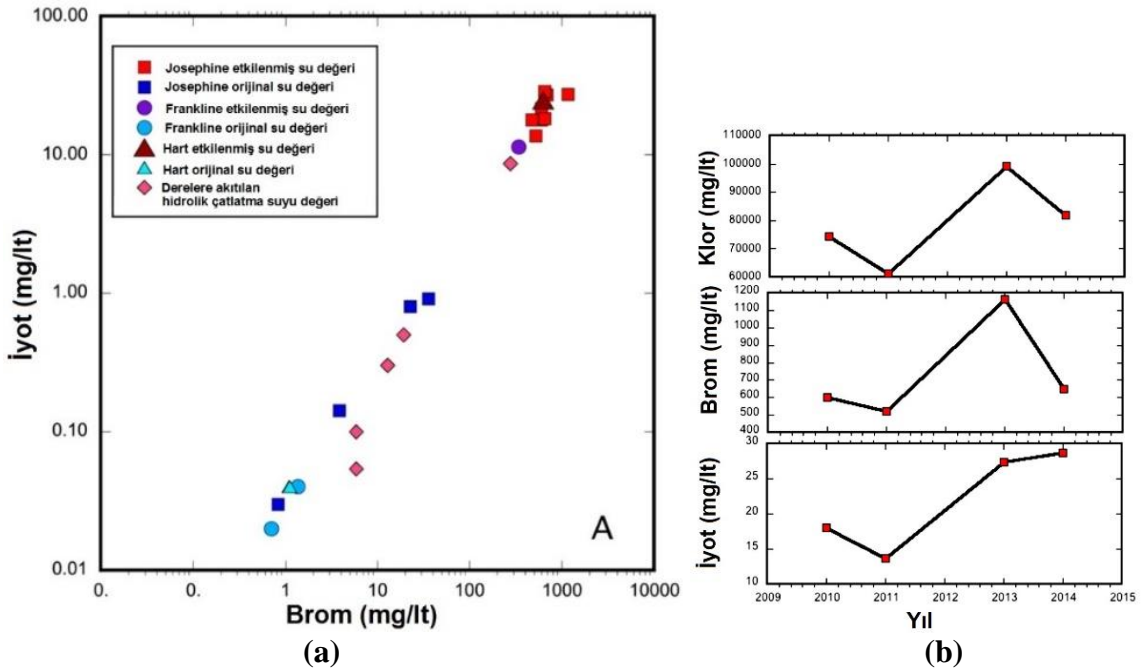
Şekil 2.7. Bir bindirme - kıvrım kuşağı boyunca hidrokarbonlarca ve iyotça zengin rezervuar sularının derinlerden yeryüzeyine doğru akış mekanizması (Karsev ve ark., 1959; Tedesco, 1995; Potter II ve ark., 1996; Shi ve ark., 2012; Özdemir, 2018b'den düzenlenmiştir).

Petrol ve doğalgaz sahalarında, üretilen petrol ve doğalgaz miktarına bağlı olarak farklı miktarda üretilmiş su oluştuğu görülmüştür. Üretilen su miktarı; petrol çıkarma teknolojisine ve rezervuar özelliklerine bağlıdır (Campos ve ark., 2002; Qiao ve ark., 2008). Dünya genelinde su/petrol oranı ortalama 2/1 - 3/1, ABD'de bu oran 7/1'dir. ABD'deki yaşlı kuyularda, bu oran > 50/1 oranına kadar yükselbilmektedir (Lee ve ark., 2002; Veil, 2006). Gerek konvensiyonel gerekse konvensiyonel olmayan petrol ve doğalgaz sahalarından arıtılarak atılan/deşarj edilen üretilmiş suların üretim yapılan bölgedeki yüzey ve yeraltı suları üzerindeki etkisini inceleyen çok sayıda çalışma yapılmıştır. Harkness ve ark. (2015), Parker

ve ark. (2014) ve Lu ve ark. (2015) çalışmalarında, organik maddece zengin şeyllerden konvensiyonel olmayan yöntemle gaz ve petrol üretimi yapılan sahalardan atılan hidrolik çatlatma geri dönüş akışkanlarının bölgesel yüzey suları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmaların sonuçlarına göre, organik maddece zengin şeyllerden gelen hidrolik çatlatma geri dönüş akışkanlarının bölgesel yüzey sularında diğer halojenlere oranla özellikle iyot artışına sebep olduğu görülmektedir (Şekil 2.8 ve 2.9).



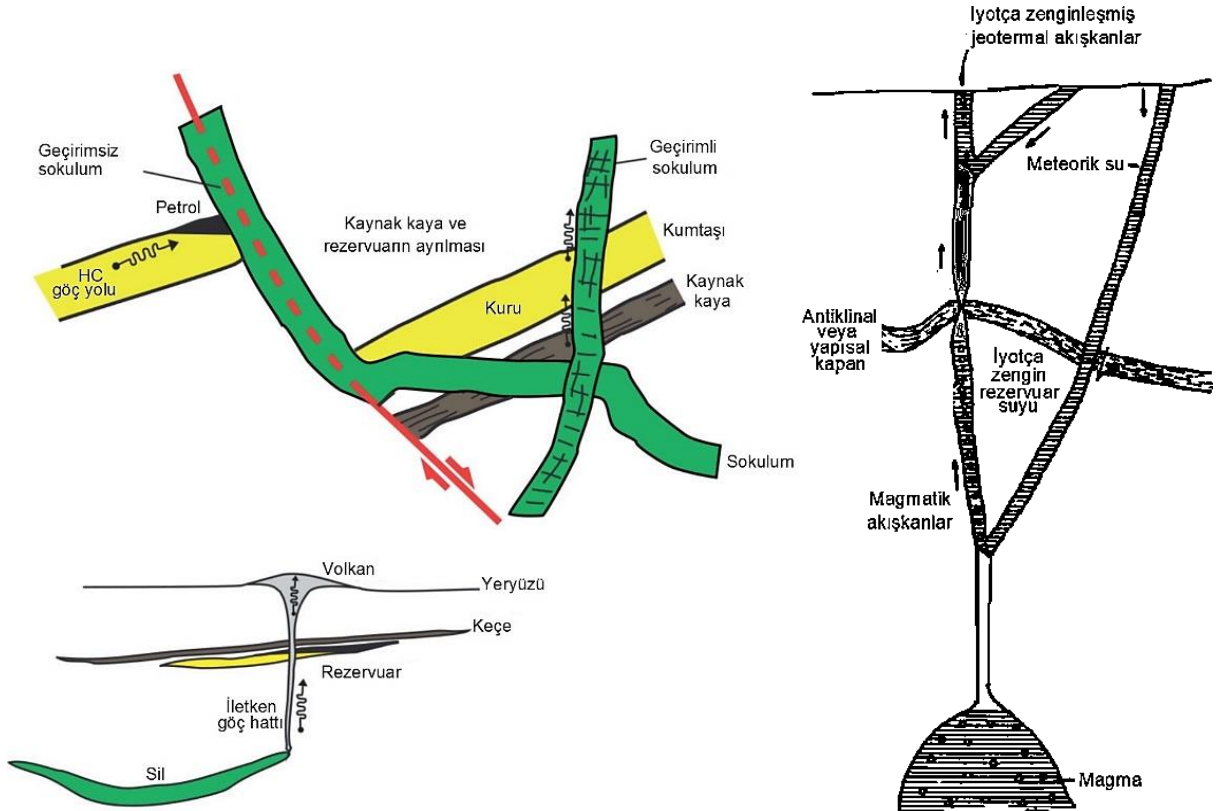
Şekil 2.8. Şeyl gaz üretimi hidrolik çatlatma ile geri dönüş akışkanlarının artırdıktan sonra içerisinde salındığı yüzey sularındaki iyot ve brom miktarını artırma etkisi (Parker ve ark., 2014'den)



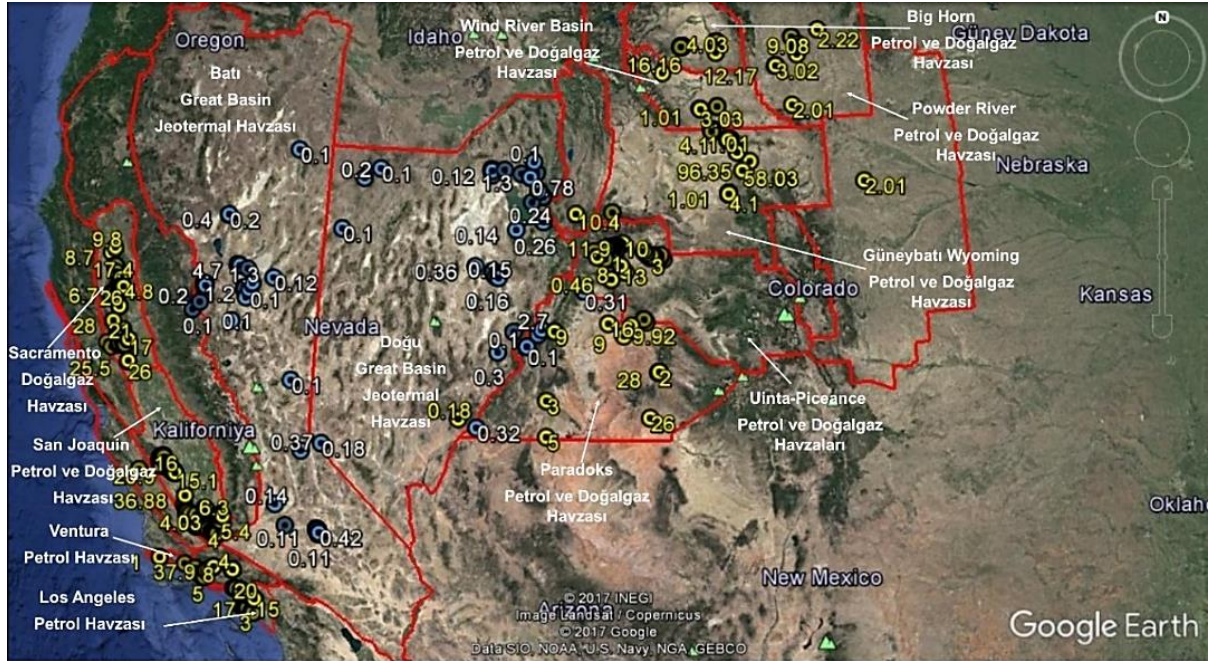
Şekil 2.9. Üç üretilmiş su arıtma tesisinden yüzey sularına atılan hidrolik çatlatma suyunun yüzey sularındaki iyot ve brom değerlerini artırma etkisi (Harkness ve ark., 2015). Grafikte suların arıtılmış ve yüzey suları ile karışmış olmasına rağmen, iyot ve bromun korunduğu (a) ve yüzey suları ile karışma sonrasında zamanla klor ve brom miktarlarındaki azalma, iyot miktarındaki artış (b) dikkat çekicidir.

Kaya gazı ve petrolü üretim işlemleri, hem petrolün iyot ile birlikte göç ettiğinin (Kendrick ve ark., 2011; Chen ve ark., 2016) hem de petrol ve doğalgaz sahası suları ile ilişkide olan yüzey ve yeraltı sularındaki iyot zenginleşmesinin sebebinin açıklanmasını kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmaların sonuçları, petrol ve doğalgaz rezervuarından çıkarak civardaki sularda zenginleşen iyotun, yüzey ve yeraltı sularında doğrudan bir petrol ve doğalgaz belirteci olduğunun da göstergesidir.

Senger ve ark. (2017), magmatik sokulumların petrol sistemleri üzerindeki etkilerini ve White (1957) jeotermal su tiplerini ve oluşum özelliklerini detaylı olarak incelemiştir. Bir petrol sisteminin ana bileşenleri; (1) hidrokarbon türümüne yol açan koşullar, (2) kaynak kayadan ayrılan hidrokarbonların göç edebileceği yollar, (3) hidrokarbonlar için rezervuar görevi gören gözenekli ve geçirgen bir kaya, (4) düşük geçirimli çevresel birimler ve (5) kapalı bir yapıdır (kapan). Magmatik sokulumlar, bu beş ana petrol sistemi bileşeninden herhangi birini ve/veya birkaçını etkileyebilirler. Magmatik sokulumlar, çatlaklı ve geçirgen olması durumunda, yeni göç yolları oluşturabilir veya kristalize ve geçirimsiz oldukları zaman ise akışkan bariyeri olarak görev üstlenebilirler (Şekil 2.10) (Senger ve ark., 2017). Bu magmatik faaliyetlerin etkisi ile hidrokarbonlarca ve iyotça zengin sular, petrol rezervuarlarından yüzeye taşınarak farklı kökenli sularla karışabilirler (Şekil 2.10). Bu magmatik faaliyetler etkisiyle oluşan jeotermal akışkanlardaki iyot miktarı artışları, bir petrol sistemi varlığı için önemli bir belirteçdir. Liu ve ark. (1997) çalışmasında, jeotermal sistemlerle ilişkide olan petrol sahaları ile iyot arasındaki ilişkiler, Fehn ve ark. (1992) ve Bohlke ve Irwin (1992) çalışmalarında da jeotermal sistemlerdeki iyotun kaynağı detaylı olarak incelenmiştir. Tomaru ve ark. (2009a), sığ derinliklerdeki sularda ve jeotermal kaynaklardaki iyot zenginleşmesinin ana kaynağının derin birimlerdeki petrol ve doğalgaz yatakları olduğunu belirtmişlerdir. Li ve ark. (2011), rezervuara petrol yerleşiminin bir miktarının yükselme ve tatlı su ile karışma, büyük oranda ise yükselme ve jeotermal akış ile karışma sonucunda gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Bu çalışmanın gerek kimyasal gerekse izotopik verileri, petrolün rezervuara yerleşiminde suların özellikle de jeotermal akışkanların büyük bir rol oynadığını göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nin batı kısmında bulunan petrol ve doğalgaz sahalarına komşu Great Basin havzası jeotermal akışkanların iyot içeriğinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Bu akışkanlardaki yüksek iyot içeriğinin sebebi, jeotermal akışkanlarla ilişkideki petrol ve doğalgaz yataklarıdır (Şekil 2.11 ve Çizelge 2.4) (Özdemir, 2018c).



Şekil 2.10. Magmatik sokulumun petrol rezervuarı üzerindeki etkisi (Senger ve ark., 2017 ve White, 1957'den düzenlenmiştir)



Şekil 2.11. Amerika Birleşik Devletleri'nin batı kısmındaki petrol ve doğalgaz sahalarının formasyon suları ile bu sularla ilişkili jeotermal akışkanların iyot miktarları (Çizelge 2.4) (Özdemir, 2018c).

Çizelge 2.4. Amerika Birleşik Devletleri'nin batı kısmındaki petrol ve doğalgaz sahalarının formasyon suları ile bu sularla ilişkili jeotermal akışkanların iyot miktarları (Şekil 2.11) (Özdemir, 2018c).

Havza	En sığ - derin kuyu (m)	Ortalama derinlik (m)	Ortalama iyot miktarı (mg/Lt)	En yüksek iyot miktarı (mg/Lt)	En düşük iyot miktarı (mg/Lt)	Örnek sayısı
Great Basin	0 - 1830	140	0.07	4.7	0.001	756*
Ventura	1280 - 4220	2640	66.55	294	5	24
Los Angelas	720 - 3450	1430	74.66	190	1.02	163
San Joaquin	320 - 4040	2120	26.39	148	0.1	155
Sacramento	540 - 3390	1750	28.62	73.8	4	61
Paradox	770 - 2870	2015	17.09	53	2	11
Uinta-Piceance	1370 - 5750	3385	15.27	48.6	0.46	55
Güneybatı Wyoming / Green River	180 - 3150	1990	26.90	519	1	37
Powder River	1180 - 2650	2015	19.98	53.58	2.01	12
Big Horn	705 - 3200	1735	8.44	23.37	1.01	17
Wind River	486 - 2635	1552	19.33	57.57	1	8

\* Toplam jeotermal akışkanlardan 9 adetinin iyot miktarı 1 mg/Lt'den büyük, 93 adeti 0.1 - 1 mg aralığında, diğer 654 adeti 0.1 mg/Lt'den küçüktür.

\*\* Çizelgedeki ABD petrolü havzaları formasyon suyu iyot verileri, USGS (2017)'den alınarak Özdemir (2018c) tarafından düzenlenmiştir.

Hidrokarbon birikimleri ile ilişkide olan veya hidrokarbonlar tarafından kirletilmiş yüzey ve yeraltı suları tipik olarak yüksek miktarda hidrokarbon içerirler. Su numunelerinde Toplam Petrol Hidrokarbonları (TPH) içeriği, yüzey ve yeraltı sularının hidrokarbon kirliliğini belirlemek için kullanılan önemli bir parametredir. Toplam Petrol Hidrokarbonlarının saptanması, yeraltı sularının petrol kirliliği hakkında bilgi vermektedir. Toplam Petrol Hidrokarbonları analizi, C8 - C40 karbon aralığında kalan alan yardımıyla su numunesindeki TPH değerinin (hidrokarbon miktarının) hesaplanmasıdır. Bu karbon yelpazesi, düşük kaynama noktasına sahip uçucu hidrokarbon bileşiklerinden, yüksek kaynama noktası aralığında bulunan uçucu olmayan bileşiklere kadar uzanmaktadır (Sakroon, 2008).

Hidrokarbonlar tarafından kirletilmiş yüzey veya yeraltı sularının TPH konsantrasyonları gaz kromatografisi (GC) analizleri ile belirlenmektedir. Petrol ve doğalgaz sahası üretilmiş sularının TPH değerleri, 50 - 250 mg/lt arasındadır. Ortalama konsantrasyon, değişik olmakla birlikte 100 mg/lt civarındadır (Sakroon, 2008). Özdemir (2018b), TPH içeriği > 0.5 mg/lt olan yüzey suları ve yeraltı sularının petrol ve doğalgaz yatakları ile ilişkili sular olduğunu belirtmiştir. Aynı çalışmada, suların hidrokarbon içeriğini tanımlayan TPH (toplam petrol hidrokarbonları) analizlerinin, petrol ve doğalgaz aramacılığında kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışmada, Ulukışla (Niğde), Hasanoğlan (Ankara) ve Yüksekova (Hakkari) bölgeleri yüzey suları ve yeraltı sularında yapılan TPH analizlerine ait sonuçlar, aynı bölgedeki klasik petrol jeokimyası analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Çalışmada, incelenen su numunelerinin tamamının TPH değerlerinin yeraltı suları için önerilen sınır değerden (TPH < 0.5 mg/lt) olan oldukça yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 2.5). Ayrıca, her üç bölge sularında da olgun petrol kaynaklı n-alkan hidrokarbonları tespit edilmiştir. Bu çalışmada, hidrokarbonlarca (TPH) zengin yüzey suları ve yeraltı sularının aynı zamanda iyotça da zengin olduğu belirlenmiştir. Fehn ve ark. (1992) çalışmasında da, iyotça zengin sularda aynı zamanda hidrokarbonlarında bulunduğu belirtilmiştir.

Çizelge 2.5. Türkiye'deki hem iyotça ve hem de olgun petrol hidrokarbonlarınca (TPH) zengin bazı sular (Özdemir, 2018b,d)

İl	Numune	I (mg/lt)	Cl (mg/lt)	TPH (mg/lt)
Ankara	Hasanoğlan-1	0.03	23.9	42.38
	Hasanoğlan-2	0.04	17.7	23.39
	Hasanoğlan-3	0.05	26.4	24.04
	Hasanoğlan-4	0.03	27.5	45.31
	Hasanoğlan-5	0.03	22.8	37.91
	Hasanoğlan-6	0.05	23.5	42.09
	Hasanoğlan-7	0.09	49.2	41.34
Niğde	Ulukışla-1	8	2302	7.49
	Ulukışla-2	6	1058	7.27
	Ulukışla-3	3	1305	4.50
Hakkari	Yüksekova-1	0.08	15	16.18
	Yüksekova-2	0.05	15	12.01
Bayburt	Aydıntepe	0.05	6.5	75.3

### 3. İyotça Zengin Yüzey ve Yeraltı Suları İçeren Bazı Petrollü Havzaların İncelenmesi

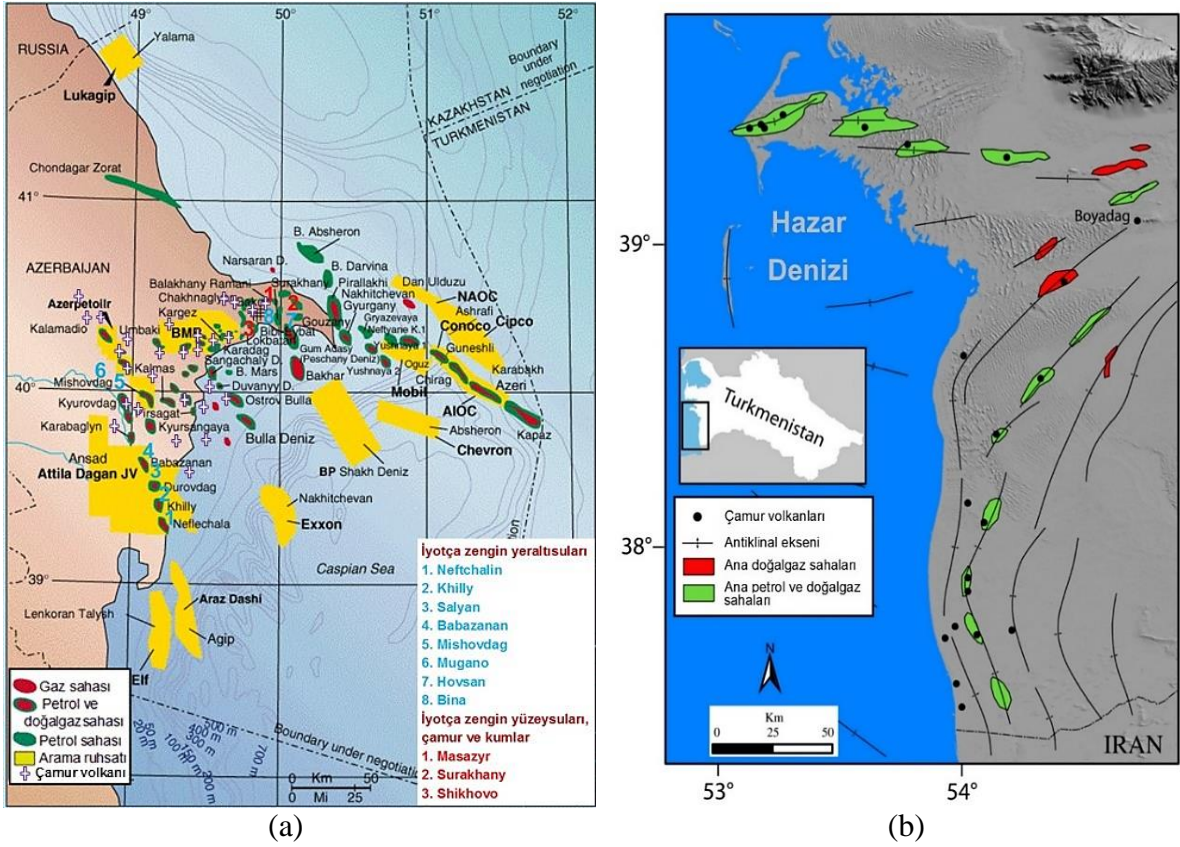
Batı Hazar (Azerbaycan), Doğu Hazar (Türkmenistan), Po (İtalya) ve Sacramento (ABD) petrollü havzaları, iyotça zengin yüzey ve yeraltı sularının petrol sistemleri ile ilişkilerinin incelenmesi için hidrojeokimyasal veriler bulunan önemli havzalardır. Avrupa, Batı ve Doğu Sibirya bölgelerindeki platform tipi artezyen havzalarında ve Kafkaslar kıvrımlı alanlarındaki büyük dağ içi havzalarda ve dağ eteklerinde iyotça zengin su kaynakları bulunmaktadır (UNESCO, 2004). Djunin ve Korzun (2010), Batı Sibirya (Rusya) petrol ve doğalgaz havzası derin formasyonlarındaki suların tektonik kırıklar ve breş zonları boyunca boşaldığını, faylar ile ilişkili bu yoğun boşalım zonlarının havza çevresi ile sınırlı ve boşalan suların iyotça zengin olduğunu belirtmiştir. Azerbaycan'da, endüstriyel (iyot üretimi) ve turizm amaçlı kullanılan iyotça zengin önemli yeraltı suları bulunmaktadır. Bu sular, Mugano-

Salyan ovası, Neftchalin ve Salyan bölgelerindedir. Kura ovasında açılan kuyularda, farklı derinliklerde iyotça zengin sular tespit edilmiştir (UNDP, 2007). Azerbaycan'da iyotça zengin suların bulunduğu diğer bölgeler, Babazanan, Mishovdag ve Bina-Hovsan'dır. Urazov (1919) çalışmasında, Bakü'deki iyotça zengin sular içeren gölleri tanımlamıştır. Bakü'deki Surakhany, Shikhovo ve Masazyr tuzlu gölünün sülfidli siltli çamuru (Bilgyakhand) ve 100 km'den uzun kum plajları, iyotça zengin sular içerir. Bu çamur, kum ve sular sağlık turizmi amaçlı kullanılmaktadır (Zonn ve ark., 2010).

Çamur volkanları ile petrol ve doğalgaz sahaları arasında sıkı bir ilişki vardır (Şekil 3.1). Çamur volkanları, petrol sahalarında görülen yaygın oluşumlardan birisidir. Gaz ve su çıkışları ile sıkı ilişkili olan bu volkanlar (Şekil 3.2), 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. Ancak, fosil çamur volkanlarına da rastlanmıştır. 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). Azerbaycan'daki çamur volkanları ve petrol sistemleri arasındaki ilişkiler detaylı olarak incelenmiştir (Guliev ve Feizullayev, 1996; Guliev ve ark., 2003; Planke ve ark., 2003; Mazzini ve ark., 2009).

Türkmenistan'daki çamur volkanları ve petrol sistemleri arasındaki ilişkiler bazı çalışmalarda (Oppo ve ark., 2014; Oppo ve Capuzzi, 2015) incelenmiştir. Oppo ve Capuzzi (2015) çalışmasında, Batı Türkmenistan'daki sediman (çamur ve kum) volkanı oluşumu ve tüketilmesinin 4 aşamalı olduğu belirtilmiştir (Şekil 3.3); (a) Çamur volkanının derin bağlantılı olması, rezervuarda kısmi gaz ayrışmasına sebep olur ve önemli miktarda hidrokarbon birikimini önler. (b) Çamur volkanının suskunluk döneminde, hidrokarbon göçü basınç artışlarına sebep olur. (c) Sürekli hidrokarbon göçü nedeniyle rezervuarda aşırı basınç artışları ve kumun yeniden hareketlenmesine sebep olur. (d) İleri düzeyde aşınma nedeniyle kumtaşı sokulumları yüzeyde görülür ve rezervuarda kısmi gaz ayrışmasına sebep olur.

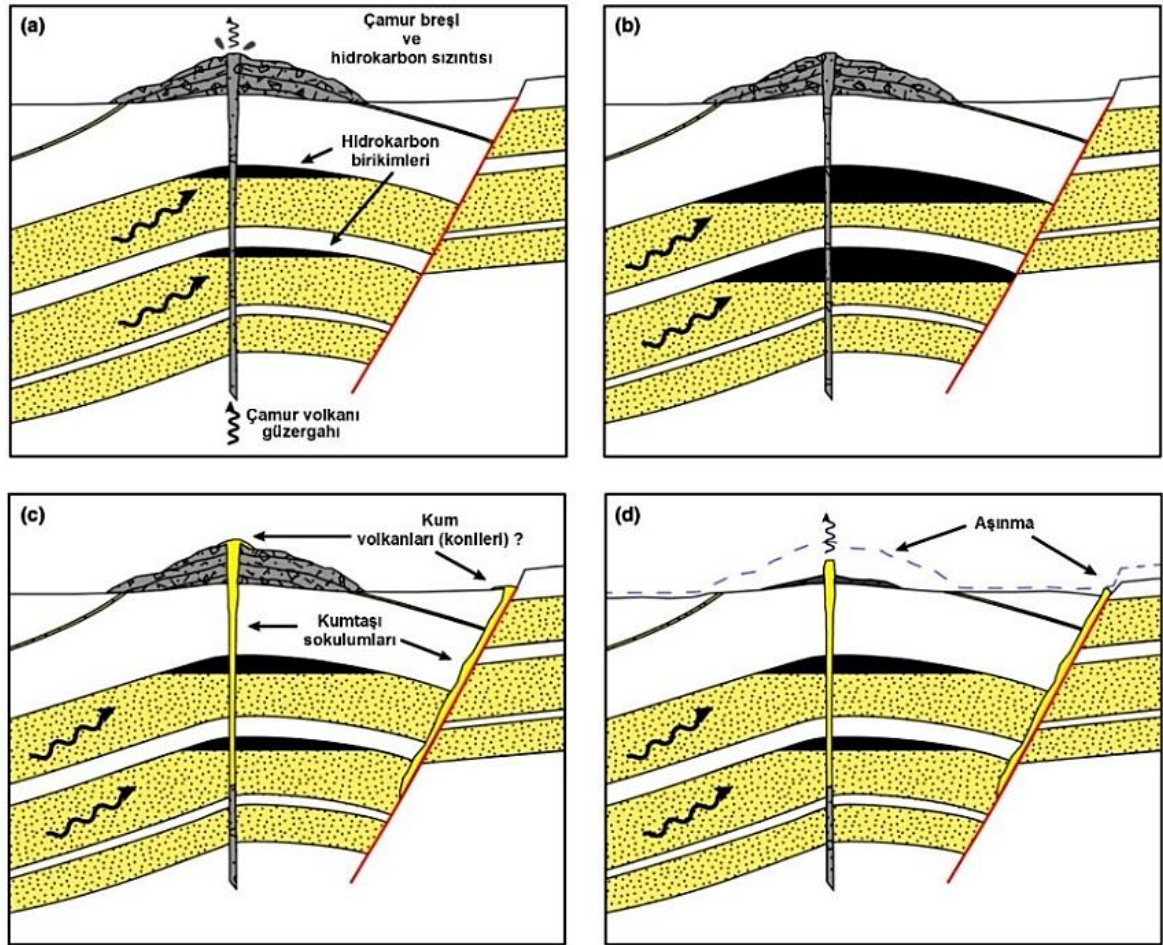




Şekil 3.1. Güney Hazar havzasında iyotça zengin sular, çamur volkanları ile petrol ve doğalgaz sahaları arasındaki ilişki. a) Azerbaycan (harita: Knott, 1998. İyotça zengin su verisi için metne bakınız. Çamur volkanları: İnan, 1982). b) Türkmenistan (Oppo ve Capozzi, 2015)

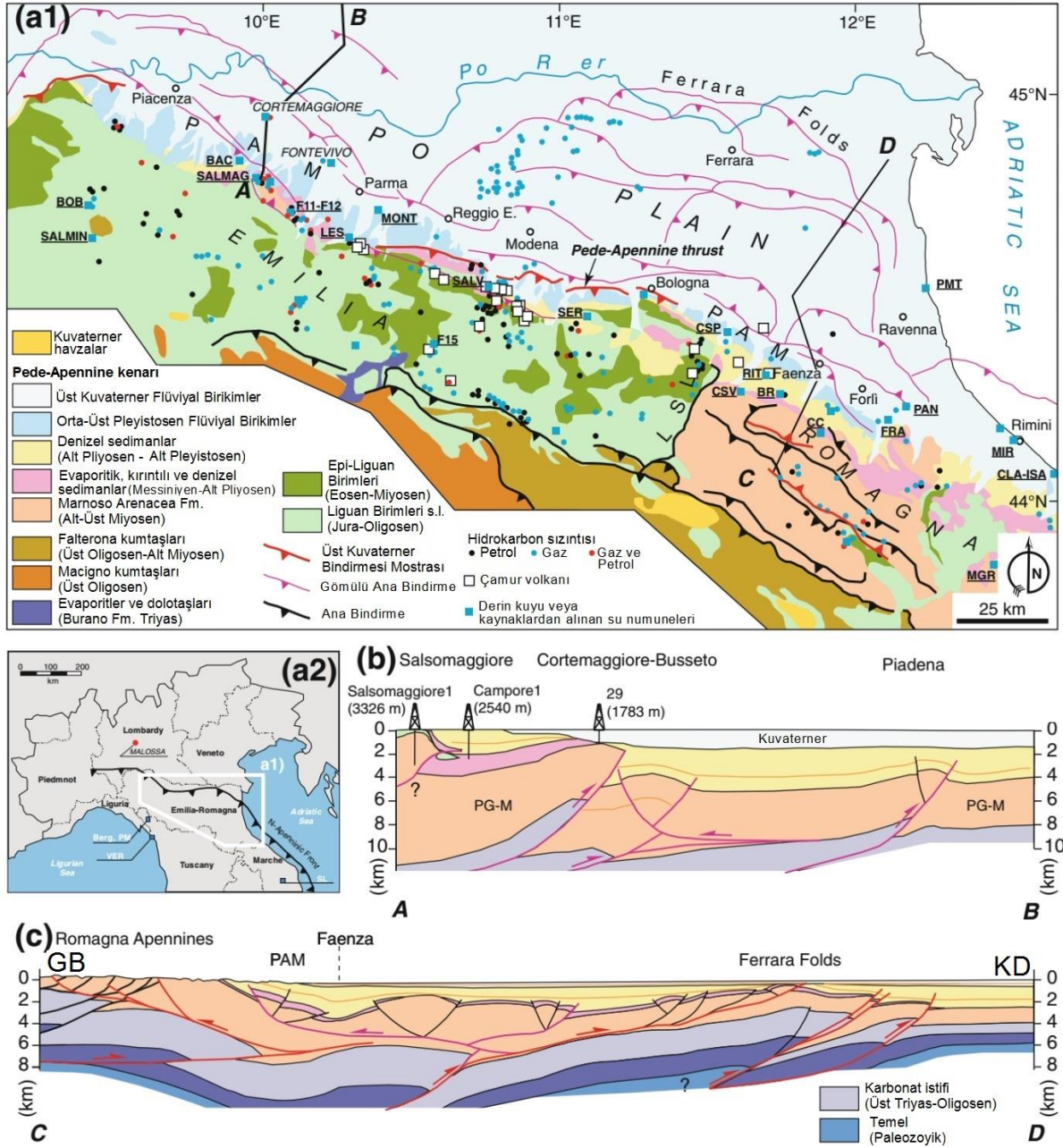


Şekil 3.2. Azerbaycan çamur volkanlarından çeşitli görüntüler (Mazzini ve ark., 2009)



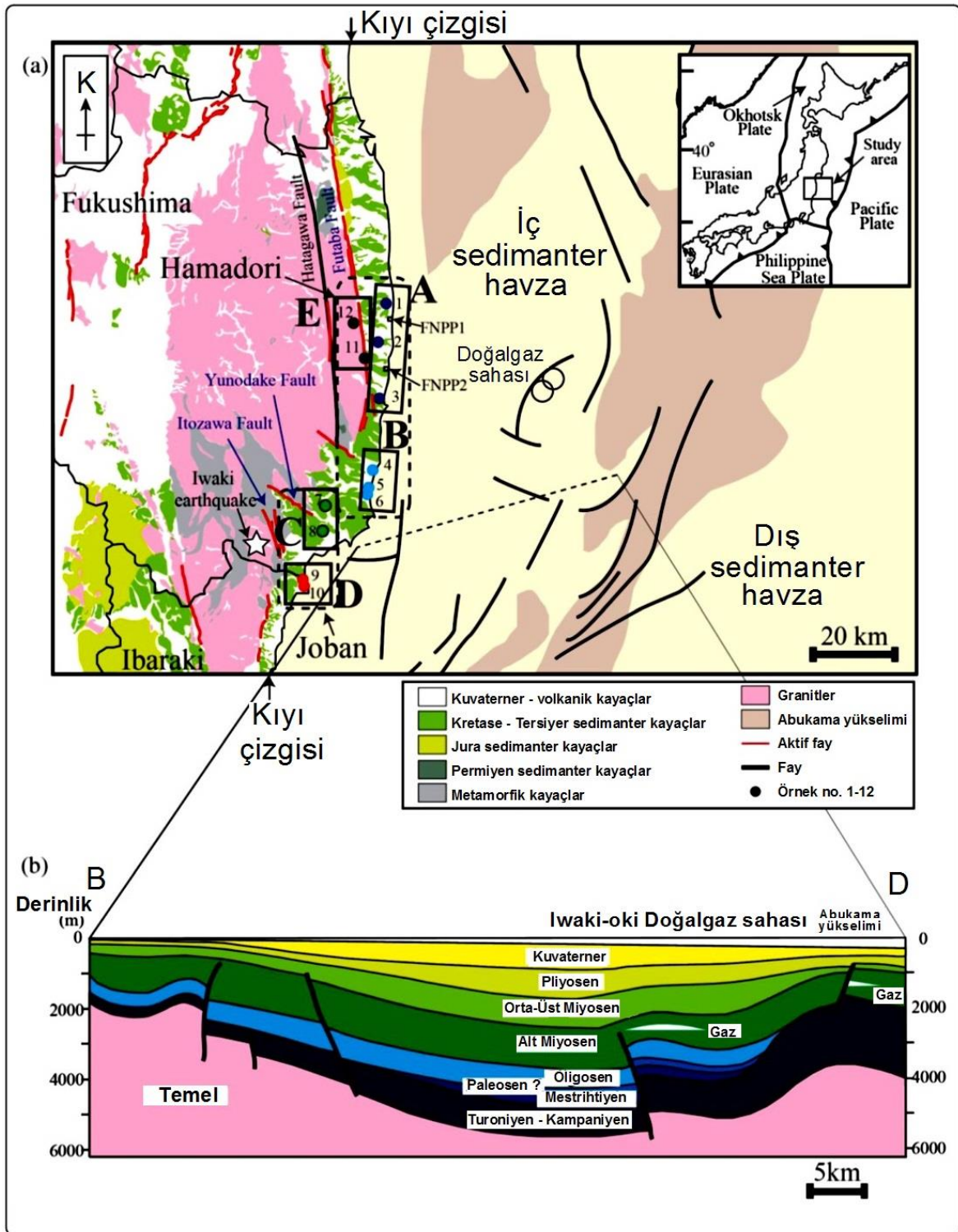
Şekil 3.3. Batı Türkmenistan'daki sediman (çamur ve kum) volkanı oluşumunun ve tüketilmesinin evrimsel süreci (Oppo ve Capozzi, 2015).

Boschetti ve ark. (2011), Avrupa'daki önemli bir petrollü havza olan Po havzasındaki (İtalya) acı, tuzlu ve salamura yüzey ve kuyu sularındaki yüksek miktardaki iyotun kaynağının denizel organik maddenin ayrışması olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 3.4). Gömülme ve diyajenez sırasında organik maddenin ayrışmasının sulara yüksek iyot içeriğine, havzada hidrokarbon türümüne ve çözülmüş sülfat tüketimine sebep olduğu belirtilmiştir. Po havzasının tuzlu ve salamura sularındaki iyot içeriğinin, organik madde ayrışmasının çok aktif olduğu Peru kıta kenarı gözenek sularının iyot içerikleri ile karşılaştırılabilir olmasının dikkat çekici olduğu vurgulanmıştır. Çoğu deniz organizması için zehirleyici olan penesalin paleoortamın salamura sularının, sedimanter havzalarda gömüldükten sonra (derinlikteki düşük redoks koşullarında) kıta kenarlarındaki gözenek sularına benzer şekilde oldukça yüksek iyot (140 mg/lit) içeriğine ulaştığı belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca, Po havzasındaki (İtalya) çamur volkanları da ele alınmıştır. Havzadaki jeolojik birimler (kumtaşları vb.) dikkate alındığında, iyotça zengin suların havzadaki çamur volkanları ile ilişkili olduğu söylenebilir (Şekil 3.3 ve 3.4).



Şekil 3.4. Po havzasındaki (İtalya) iyotça zengin sular ve bölgedeki hidrokarbon sızıntıları (Boschetti ve ark., 2011)

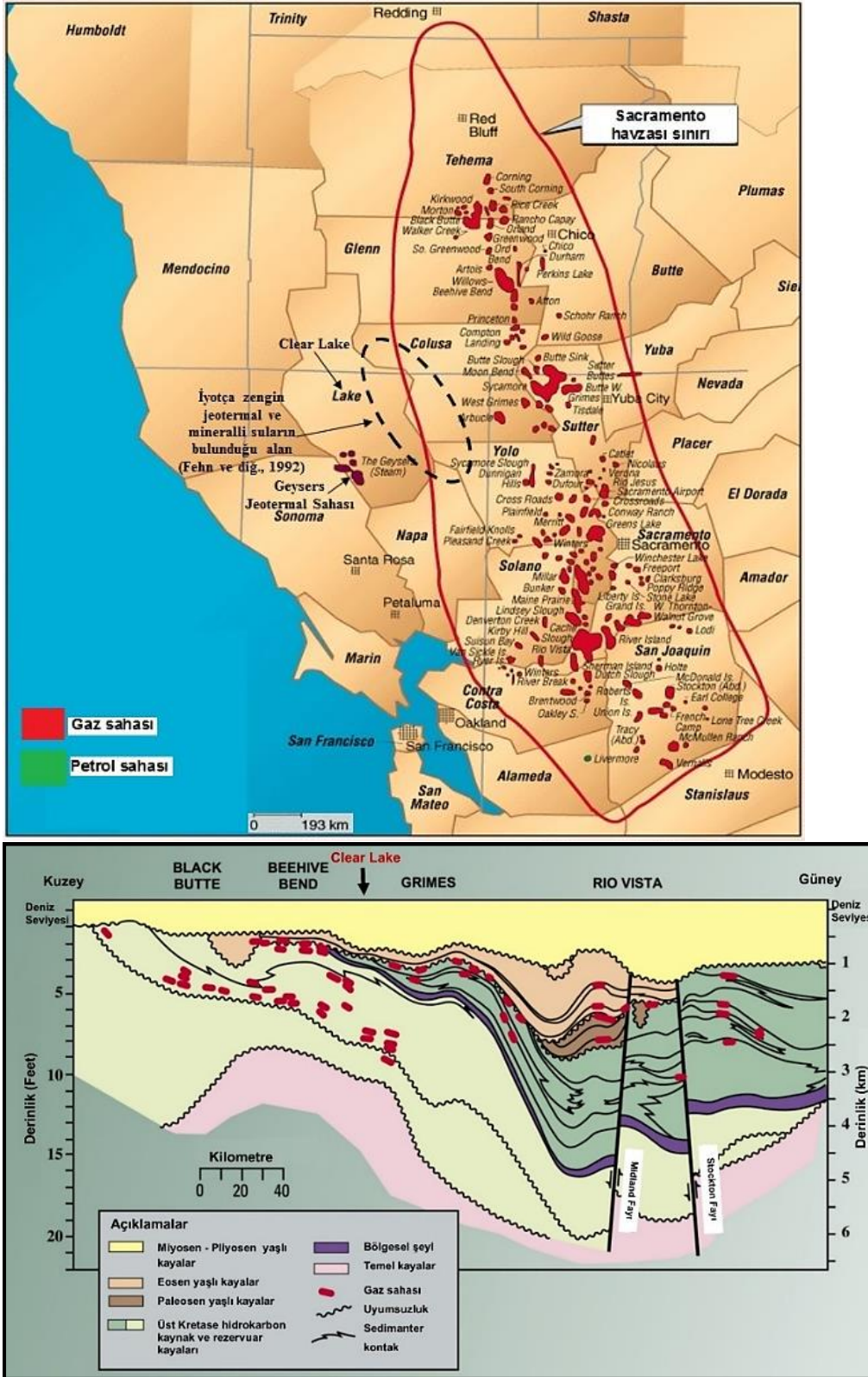
Togo ve ark. (2014), Joban ve Homadori petrolü havzalarındaki (Japonya) iyotça zengin sıcak suların, dalma-batma zonu altındaki sedimanlarla ilişkili bir yitim zonundaki manto kamalanması yoluyla göç etmiş iyotça zengin akışkanlar olabileceğini belirtmişlerdir (Şekil 3.5). Çalışmada önerilen model, Muramatsu ve ark. (2004) ve Synder ve Fehn (2002) modelleri ile uyumludur. İyotça zengin jeotermal suların Iwaki-oki doğalgaz sahasından Land (1991) ve Stueber ve ark. (1993) modelleri (Şekil 2.6) ile uyumlu olarak göç etmiş olan iyotça zengin paleodenez suları ile karışmış sular oldukları anlaşılmaktadır.



Şekil 3.5. Joban - Hamadori havzalarındaki (Japonya) iyotça zengin sıcak suların kaynağı için kavramsal model (Togo ve ark., 2014)

Fehn ve ark. (1992) çalışmasında, petrolü Sacramento havzasındaki (ABD) Clear Lake bölgesindeki iyotça zengin jeotermal kaynaklar, mineralli sular, formasyon suları ve serpantinleşme kaynaklarındaki iyotun aynı kökenli ve organik maddece zengin kayalardan türediğini belirlemişlerdir (Şekil 3.6). İyotça zengin mineralli suların, meteorik sular tarafından seyreltilmiş formasyon suları olduğu bildirilmiştir. Bazı su kaynaklarında, hidrokarbonlar tespit edilmiştir. Suların, Sacramento havzasındaki doğalgaz sahalarından göç

eden iyotça ve hidrokarbonlarca zengin rezervuar suları ile Land (1991) ve Stueber ve ark. (1993) modellerine (Şekil 2.6) uygun olarak karışmış sular oldukları anlaşılmaktadır.



Şekil 3.6. Sacramento havzasındaki (ABD) iyotça zengin sıcak suların kaynağı için kavramsal model (MacKevett, 1998; USGS, 2007; Fehn ve ark., 1992'den düzenlenmiştir)

### 3.1. İyotça Zengin Yüzey ve Yeraltı Sularının Petrol Sistemleri ile İlişkisinin Belirlenmesi

Deniz suyunda iyot konsantrasyonları düşük iken ( $0.05 \text{ mg/l}$ ;  $I/Cl = 2.6 \times 10^{-6}$ ), petrol sahası suları litre başına birkaç veya yüzlerce miligram iyot içerebilir ( $I/Cl > 10^{-5}$ ). Deniz suyundaki düşük  $I/Cl$  oranı ile çoğu petrol sahası ve tuzlu derin havza suyundaki yüksek  $I/Cl$  oranları, bu tuzlu su kaynakları arasında farklılık yaratabilir (Reichter ve Kreither, 1993).  $I/Cl$  oranları, Lloyd ve ark. (1982) tarafından güncel tuzlu suları ( $I/Cl$  oranı:  $10^{-5} - 10^{-6}$ ) fosil tuzlu sulardan ( $I/Cl$  oranı  $> 10^{-5}$ ) ayırmak için iki İngiltere tebeşirtaşı akiferinde kullanılmıştır. Çalışmada iyot, tuzlu su karakterizasyonu için muhtemel bir parametre olarak seçilmiş olsa da, çalışma sonucunda ilginç olarak iyi bir seçim olduğunu kanıtlamıştır. Bu çalışmada, iyotun ve göreceli olarak klor zenginleştirilmesinin, yeraltı suyu hareketliliği nedeniyle organik maddece zengin tebeşirtaşı ile yeraltı suyu arasındaki iyot değişimi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kim ve ark. (2006),  $I/Cl$  oranı ile güncel meteorik ve organik madde içeren fosil deniz sular arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.  $I/Cl$  oranları, Whittemore ve ark. (1981) tarafından evaporitlerden türeyen tuzlu sular ile petrol sahası sularını ayırt etmek için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda,  $I/Cl$  oranının kullanılmasının genellikle petrol sahası sularının ayırt edilmesinde en iyi yöntem olduğu belirtilmiştir. Bir havzada bulunan petrol ve doğalgaz sahası sularının meteorik sular ile seyrelmesi veya tuzlu sular ile karışması durumunda dahi, seyrelen veya karışan petrol ve doğalgaz sahası suyunda  $I/Cl$  oranı çoğunlukla korunur ve diğer su kaynaklarının  $I/Cl$  oranlarından yüksektir (Lemay ve Konhauser, 2006).

Harkness ve ark. (2015), Marcellus ve Fayetteville şeyl formasyonları şeyl petrolü ve kaya gazı üretim geri dönüş akışkanları ve konvensiyonel petrol ve doğalgaz sahalarından üretilen suların  $I/Cl$  oranının deniz suyu evaporasyonu  $I/Cl$  oranından yüksek olduğunu, bu durumda petrol ve doğalgaz sahası sularındaki iyotun birincil kaynaktan (denizsuyu evaporasyonundan) daha ziyade ikincil bir kaynaktan (formasyonda bulunan organik madde içerisindeki iyotun salıverilmesinden) kaynaklandığını belirtmişlerdir. Collins (1969) ve Worden (1996), sedimanter kayalar içerisinde bulunan organik maddedeki iyot miktarının, formasyon suyunun iyot içeriği ve  $I/Cl$  oranı üzerinde baskın kontrolü olduğunu belirtmişlerdir. Petrol ve doğalgaz sahası sularının  $I/Cl$  oranlarının da diğer su tiplerinden yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 3.1 ve 3.2). Lu ve ark. (2015) organik maddece zengin şeyllerin sığ yeraltı suları üzerindeki etkisini belirlemek için  $I/Cl$  oranının iyi bir izleyici olduğunu gösteren detaylı bir çalışma yapmışlardır. Whittemore ve ark. (1981), Lloyd ve ark. (1982), Lemay ve Konhauser (2006), Harkness ve ark. (2015) ve Lu ve ark. (2015) çalışmaları, petrol ve doğalgaz sahası sularının meteorik ve tuzlu sular ile seyrelme ve karışma durumlarını  $I/Cl$  oranları üzerinden inceleyen önemli çalışmalardır.

İncelenen havzalardaki iyotça zengin yüzey ve yeraltı suların petrol ve doğalgaz yatakları ile ilişkilerini belirlemek amacıyla suların  $I/Cl$  oranı ile  $Cl$  içeriğini esas alan Özdemir (2018d) "*Petrol ve Doğalgaz Sahası Suyu Ayırma Grafiği*" kullanılmıştır (Şekil 3.7). Bu grafik, incelenen petrolü havzalardaki  $\leq 1 \text{ mg/l}$  iyot bulunduğu tespit edilen su kaynaklarının da petrol ve doğalgaz yatakları ile ilişkisinin değerlendirilebilmesini olanaklı kılmıştır. İncelenen petrolü havza sularındaki iyot miktarları, Özdemir (2018a) çalışmasında belirtildiği gibi çoğunlukla  $> 1 \text{ mg/l}$ 'dir (Çizelge 3.3). Bu nedenle, yüzey ve yeraltı sularındaki iyotun kaynağı, organik maddece zengin sedimanter kayalardır ve bu iyotça zengin sular buldukları havzalardaki petrol ve doğalgaz yatakları ile ilişkilidirler (Şekil 3.7a). İncelenen havzalardaki iyotça zengin suların hiçbirisi, denizsuyu evaporasyonu veya halit çözünmesi sonucunda oluşmamıştır (Şekil 3.7b).

Çizelge 3.1. Bazı düşük tuzlu petrol ve doğalgaz üretim sahası formasyon sularının tuzluluk değerleri ve I/Cl oranları (Özdemir, 2018a).

Petrol sahası / bölgesi	Toplam Tuzluluk (mg/lt)	I (mg/lt)	Cl (mg/lt)	I/Cl Oranı ( $\times 10^{-5}$ )
Renqie (Çin, dev saha)	178	-	43	-
Gudao, Shengli (Çin, dev saha)	3228	-	1036	-
Shengli (Çin, dev saha)	17960	-	10402	-
Daqang (Çin, dev saha)	16316	-	7896	-
Furrial-Musipan (Venezuela, dev saha)	5643	-	1780	-
Prudhoe Bay (ABD, dev saha)	18863	16.5	9270	177.9
Yarudei bölgesi (Rusya)	18400	7.20	10767	66.8
Severnyi Arch bölgesi (Rusya)	21779	7.35	12325	59.6
Western Khatanga bölgesi (Rusya)	8230	8.24	3877	212.5
Yamal Peninsula bölgesi (Rusya)	15788	24.26	8345	290.7
Yenise-Khatanga bölgesi (Rusya)	8936	8.47	4233	200.1
Deniz suyu	35148	0.05	19500	0.26

\* Formasyon suyu verileri: Fu ve Zhan (2009); Kurchikov ve Plavnik (2009); Novikov (2013a,b); Novikov (2012); Kokh ve Novikov (2014); Yang (2017); USGS (2017). Denizsuyu verisi: Oppo ve Capozzi (2015) alınmıştır. Dev (giant) saha: > 500 milyon varil petrol veya petrol eşdeğeri doğalgaz rezervli sahadır. Bölgelerin toplam tuzluluk değeri, bölgedeki kuyuların ortalama tuzluluk değerleridir.

Çizelge 3.2. Güneydoğu Anadolu ve Trakya havzaları petrol sahası sularının I/C oranları (iyot verisi: Özdemir, 2018a. Cl verisi: Okandan ve ark., 1994; Çelik ve Sarı, 2002; Hoşhan ve ark., 2008; Özdemir ve ark., 2018. Denizsuyu verisi: Oppo ve Capuzzi, 2015. Meteorik su verisi: Fehn ve ark., 2007a)

Saha	I (mg/lt)	Cl (mg/lt)	I/Cl oranı ( $\times 10^{-5}$ )
Raman	1.43	6950	20.6
Batı Raman	1.62	59336	2.7
Garzan	0.92	14838	6.2
Adıyaman	0.53	7141	7.4
Batı Fırat	2.33	15297	15.2
Beşikli	1.93	16851	11.5
Çemberlitaş	1.04	4856	21.4
Karakuş	1.51	12090	12.5
Güney Karakuş	2.10	12596	16.7
Kuzey Karakuş	0.65	15000	4.3
İkizce	3.39	8422	40.3
Çamurlu	0.45	5633	8.0
Kuzey Osmaniye	0.37	12980	2.9
Vakıflar	0.56	3601	15.6
Denizsuyu	0.05	19500	0.26
Meteorik su	0.013	0.35	285.7

Dünya genelindeki petrol ve/veya doğalgaz üretim sahası sularının tamamı tuzlu değildir, ancak tamamı iyotça zengindir (Özdemir, 2018a). I/Cl-Cl grafiğinde, incelenen havzalardaki iyotça zengin suların bir kısmının tatlı sularla, bir kısmında deniz suyu ile karışmış olan petrol ve doğalgaz sahası suları olduğu görülmektedir (Şekil 3.7a). Bu durum, I/Cl grafiği ile de uyumludur. I/Cl grafiğine göre, belirlenmiş olan iyotça zengin suların büyük kısmının acı ve tuzlu tip sular olduğu görülmektedir. Bir kısmı da, salamura su sınıfındadır (Şekil 3.7b).

Çizelge 3.3. Çalışma kapsamında incelenen petrolü havzalardaki iyotça zengin yüze ve yeraltı sularının tipleri ve hidrokarbonlarla ilişkileri

Referans	Kaynak veya Kuyu Adı**	Su Tipi	I (mg/l)	Cl (mg/l)	Su Tipi (Şekil 3.7b'den)	Hidrokarbonlarla İlişki*** (Şekil 3.7a'dan)
Oppo ve ark. (2014); Oppo ve Capozzi (2015) * Su örnekleri, sıcaqsu kaynaklarından alınmıştır.	New Alakel	Doğal su kaynağı	29	9300	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	Wastern Porsykel	Doğal su kaynağı	31	13471	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	Pink Porsykel	Doğal su kaynağı	43	27651	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	Boyadag	Doğal su kaynağı	54	106350	Salamura	Petrol sahası suyu
Togo ve ark. (2014) * Su örnekleri, sıcaqsu kaynak ve kuyularından alınmıştır.	1	Formasyon suyu	2.5	13258.3	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	2	Formasyon suyu	8.8	9837.4	Acı	Petrol sahası suyu
	3	Formasyon suyu	6.2	11875.8	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	4	Formasyon suyu	0.4	2534.7	Acı	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
	5	Formasyon suyu	5.6	14640.9	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	6	Formasyon suyu	0.8	2430.1	Acı	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
	7	Formasyon suyu	0.4	654.6	Acı	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
	8	Formasyon suyu	0.8	1278.6	Acı	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
	9	Formasyon suyu	7.2	7196.4	Acı	Petrol sahası suyu
	10	Formasyon suyu	5.5	6593.7	Acı	Petrol sahası suyu
Boschetti ark. (2011) * Su örnekleri, soğuksu kaynaklarından alınmıştır. MONT1, SL4, 27SALMAG1 ve 210SALMAG1 kodlu örnekler ise, petrol kuyularından alınmıştır.	BAC1	Doğal su kaynağı	0.87	330	Acı	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
	F11	Doğal su kaynağı	0.38	321	Acı	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
	MIR1	Doğal su kaynağı	1.79	750	Acı	Petrol sahası suyu
	MGR	Doğal su kaynağı	1.21	1460	Acı	Petrol sahası suyu
	F15_02	Doğal su kaynağı	0.22	4059	Acı	Tuzlu su ile karışmış petrol sahası suyu
	SER1	Doğal su kaynağı	0.64	4313	Acı	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
	BOB1	Doğal su kaynağı	1.07	5909	Acı	Petrol sahası suyu



Çizelge 3.3'ün devamı

Referans	Kaynak veya Kuyu Adı**	Su Tipi	I (mg/lt)	Cl (mg/lt)	Su Tipi (Şekil 3.7b'den)	Hidrokarbonlarla İlişki*** (Şekil 3.7a'dan)
Boschetti ark. (2011) * Su örnekleri, soğuksu kaynaklarından alınmıştır. MONT1, SL4, 27SALMAG1 ve 210SALMAG1 kodlu örnekler ise, petrol kuyularından alınmıştır.	CLA1	Doğal su kaynağı	1.88	6622	Acı	Petrol sahası suyu
	PAN1	Doğal su kaynağı	2.13	7234	Acı	Petrol sahası suyu
	PMT1	Doğal su kaynağı	2.65	8422	Acı	Petrol sahası suyu
	CSV1	Doğal su kaynağı	138	7981	Acı	Petrol sahası suyu
	PM2	Doğal su kaynağı	0.2	8589	Acı	Tuzlu su ile karışmış petrol sahası suyu
	CSV2	Doğal su kaynağı	18	8660	Acı	Petrol sahası suyu
	SALV1	Doğal su kaynağı	20.5	8490	Acı	Petrol sahası suyu
	BERG1	Doğal su kaynağı	0.73	9848	Acı	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
	VER01	Doğal su kaynağı	0.28	9781	Acı	Tuzlu su ile karışmış petrol sahası suyu
	BERG2	Doğal su kaynağı	0.11	9902	Acı	Tuzlu su ile karışmış petrol sahası suyu
	F12	Doğal su kaynağı	24	10307	Acı	Petrol sahası suyu
	SALMIN1	Doğal su kaynağı	2.4	10867	Acı	Petrol sahası suyu
	ISA1	Doğal su kaynağı	8.24	13822	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	RIT1	Doğal su kaynağı	60	18882	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	CSP1	Doğal su kaynağı	147	20206	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	CSP2	Doğal su kaynağı	59	19969	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	CC1	Doğal su kaynağı	17	26421	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	BR1	Doğal su kaynağı	8.9	29444	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	SL13	Doğal su kaynağı	16	45666	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	FRA2	Doğal su kaynağı	32	44488	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	FRA2As	Doğal su kaynağı	29	47394	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	FRA1	Doğal su kaynağı	101	51026	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	MONT1	Formasyon suyu	72	73015	Salamura	Petrol sahası suyu
SL4	Formasyon suyu	90	74374	Salamura	Petrol sahası suyu	
27SALMAG1	Formasyon suyu	111	83403	Salamura	Petrol sahası suyu	
210SALMAG1	Formasyon suyu	97	96108	Salamura	Petrol sahası suyu	

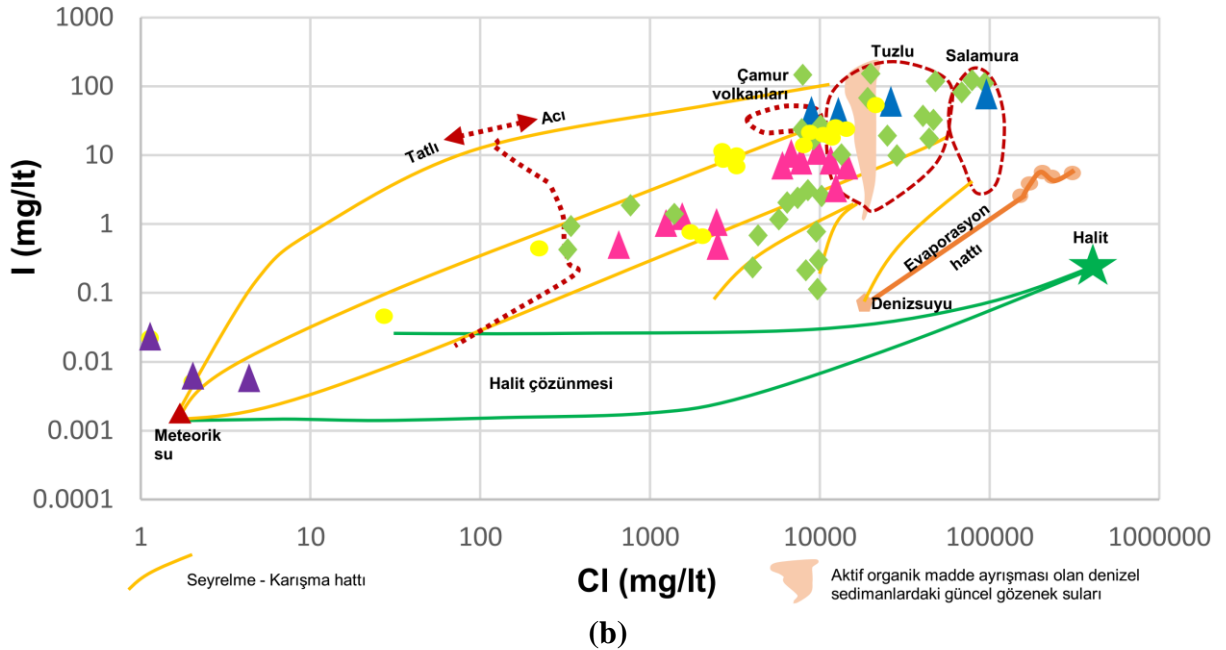
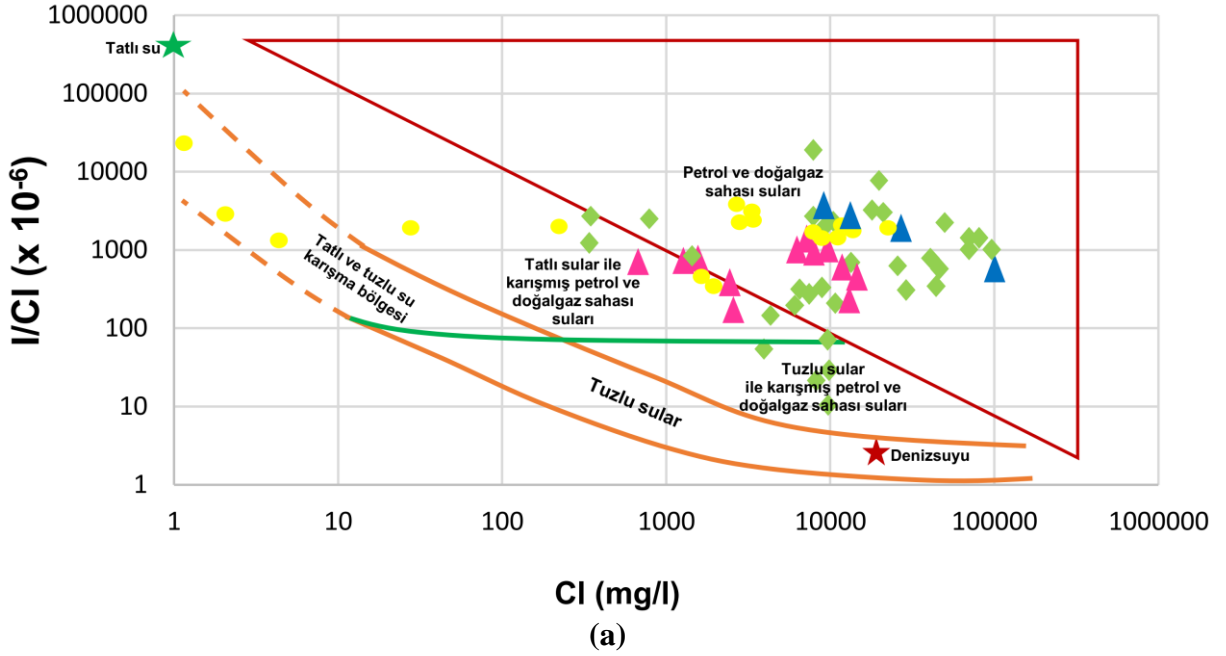
Çizelge 3.3'ün devamı

Referans	Kaynak veya Kuyu Adı**	Su Tipi	I (mg/l)	Cl (mg/l)	Su Tipi (Şekil 3.7b'den)	Hidrokarbonlarla İlişki*** (Şekil 3.7a'dan)
Fehn ve ark. (1992) * Formasyon suları, ılık ve sıcak yüzey suyu örneklerinden tespit edilmiştir. Diğer örnekler, soğuksu kaynaklarından alınmıştır.	Bartlett	Doğal su kaynağı	0.022	1	Tatlı	Petrol sahası suları ile ilişkide değil
	Roadside	Doğal su kaynağı	0.005	1.8	Tatlı	Petrol sahası suları ile ilişkide değil
	Red Elephant	Doğal su kaynağı	0.005	3.9	Tatlı	Petrol sahası suları ile ilişkide değil
	Allen Spring	Doğal su kaynağı	0.046	25.2	Tatlı	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
	Spring Four	Doğal su kaynağı	0.4	215	Tatlı	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
	Bathhouse	Minerali su kaynağı	0.76	1700	Acı	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
	Soap Spring	Minerali su kaynağı	0.64	1977	Acı	Tatlı su ile karışmış petrol sahası suyu
	Chalk Mount 1	Minerali su kaynağı	9.75	2730	Acı	Petrol sahası suyu
	Baker	Minerali su kaynağı	8.6	2818	Acı	Petrol sahası suyu
	Chalk Mount 2	Minerali su kaynağı	7.3	3090	Acı	Petrol sahası suyu
	Grizzly	Minerali su kaynağı	8.8	3153	Acı	Petrol sahası suyu
	Blank Spring	Formasyon suyu	12.4	8560	Acı	Petrol sahası suyu
	Spring One	Formasyon suyu	15.55	8730	Acı	Petrol sahası suyu
	Wilbur 1	Formasyon suyu	19.6	10804	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	Wilbur 2	Formasyon suyu	20.5	11069	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	Backside	Formasyon suyu	16	11671	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	Tiger	Formasyon suyu	19.9	12124	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	Elgin	Formasyon suyu	23.5	11976	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	Jones	Formasyon suyu	24.1	12750	Tuzlu	Petrol sahası suyu
	Elbow	Formasyon suyu	23.1	13756	Tuzlu	Petrol sahası suyu
Complexion	Serpantinleşme suyu	42	23078	Tuzlu	Petrol sahası suyu	

\*\* Kaynak ve kuyu adları, referans çalışmalardan alınmıştır. \*\*\* Bu çalışmada belirlenmiştir.

İçeriğinde  $\leq 1$  mg/l iyot bulunan su numuneleri üzerinde yapılacak  $^{129}\text{I}/\text{I}$  iyot izotop analizleri, sulardaki iyotun kaynağının (Reich ve ark., 2013) ve su yaşının dolayısıyla hidrokarbonların yaşının (Fehn ve ark., 2007b) belirlenmesinde kullanılabilir. Suların Br/I oranları (Worden, 1996 ve Hummel, 2011 çalışmaları) ile karasal veya denizel kökenli olup olmadığı yönelik değerlendirmelerde karar verilmesini sağlayacaktır. Deniz (petrol) ve karadan (kömür) türemiş organik maddelerin Br/I oranları aynı değildir. Organik maddece zengin ortamlardaki denizel kaynak kayalar ile karasal kaynak kayaları ayırt etmek için Kendrick ve ark. (2011) ve Hummel (2011) çalışmalarında Br/I oranı kullanılmıştır. İyot

miktarı, denizel ortamda daha yüksektir. Karasal ortamlarda ise, daha düşüktür. Karasal bir organik maddece ortam, daha yüksek Br/I oranlarına sahip iken denizel organik maddece zengin bir ortam yüksek iyot içeriği ve düşük Br/I oranları sergileyecektir. Hidrokarbonları türetmiş olan kerojen tipini belirlemek için I/Br oranını esas alan Özdemir (2018a) grafiği kullanılabilir.



\* Sarı renkli daireler: Sacramento (ABD) havzası minerali, jeotermal ve serpantinleşme suları, eflatun renkli üçgenler: Sacramento havzası (ABD) meteorik suları, mavi renkli üçgenler: Batı Hazar (Türkmenistan) havzası suları, pembe renkli üçgenler: Joban - Hamadori havzası (Japonya) suları, yeşil renkli baklava dilimleri: Po havzası (İtalya) sularıdır.

Şekil 3.7. (a) I/Cl-Cl (Özdemir, 2018d) oranı ve (b) I/Cl oranı (Boschetti ve ark., 2011) grafikleri.

Hidrokarbonların Karbon Tercih İndeksi (CPI), gaz kromatogramlarındaki piklerin yükseklikleri ölçülerek hesaplanmaktadır. CPI, hidrokarbonların kaynağının bir göstergesidir

(Özdemir, 2018b). Denizel kökenli hidrokarbonlar (petrol) ile karasal kökenli hidrokarbonların (kömür) CPI değerleri farklıdır. Özdemir (2018e) çalışmasında Karbon Tercih İndeksi (CPI), suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) analizi verilerinden sudaki hidrokarbonların organik madde tipi, çökeltme ortamı ve ısıl olgunluğunun belirlenmesinde kullanılmıştır. Özdemir (2018c) çalışmasında, kaya numuneleri üzerinde yapılan tüm klasik petrol jeokimyası analiz (gaz kromatografi, gaz kromatografisi kütle spektrometrisi, piroliz vb.), yöntem ve yorumlarının, hidrokarbon içeren su numuneleri üzerinde de bir bölgenin petrol potansiyelinin değerlendirilmesinde kullanılabileceği belirtilmiştir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, iyotça zengin yüzey ve yeraltı sularının oluşum mekanizmaları ve iyotça zengin sular ile petrol sistemleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu amaçla, iyotça zengin yüzey ve yeraltı sularına ait yayınlanmış hidrojeokimyasal verileri bulunan Batı Hazar (Azerbaycan), Doğu Hazar (Türkmenistan), Sacramento (ABD), Po (İtalya) ve Joban - Hamadori (Japonya) petrolü havzaları seçilmiştir. İncelenen petrolü havza sularındaki iyot miktarları, çoğunlukla  $> 1$  mg/l'tir. Bu nedenle, yüzey ve yeraltı sularındaki iyotun kaynağı, organik maddece zengin sedimenter kayaçlardır ve bu iyotça zengin sular buldukları havzalardaki petrol ve doğalgaz yatakları ile ilişkilidirler. İyotça zengin suların bir kısmının tatlı sularla, bir kısmında deniz suyu ile karışmış olan petrol ve doğalgaz sahası suları olduğu görülmektedir. İyotça zengin suların büyük kısmı acı ve tuzlu tip su, bir kısmı da salamura su sınıfındadır. İyotça zengin tuzlu petrol ve doğalgaz sahası suları, tatlı sular ile karışarak iyotça zengin acı su tipini oluşturmuştur. İncelenen havzalardaki iyotça zengin suların hiçbirisi, denizsuyu evaporasyonu veya halit çözünmesi sonucunda oluşmamıştır.

Po (İtalya), Batı Hazar (Azerbaycan), Doğu Hazar (Türkmenistan) havzalarındaki iyotça zengin sular, havzadaki çamur volkanları ve petrol sistemleri ile ilişkilidir. Joban ve Homadori petrolü havzalarındaki (Japonya) iyotça zengin sular, Iwaki-oki doğalgaz sahasından göç etmiş olan iyotça zengin paleodeniz suları ile karışmış sulardır. Sacramento havzasının (ABD) Clear Lake bölgesindeki iyotça sular, doğalgaz sahalarından göç eden iyotça zengin rezervuar suları ile karışmış sulardır. İyotça zengin bu suların bazılarında, öncel çalışmalarda hidrokarbonlarda tespit edilmiştir. Petrol ve doğalgaz yatakları içeren bu havzaların yüzey ve yeraltı sularındaki iyotun zenginleşmesinin sebebi, derinlerdeki petrol ve doğalgaz yataklarından tektonik, volkanik ve diğer jeolojik olaylar etkisi ile yüzeye ve yüzeye yakın bölümlere göç eden iyotça zengin rezervuar suları ve hidrokarbonlardır. İncelenen petrolü havzalardaki soğuk ve sıcak yüzey ve yeraltı sularındaki iyot, petrol ve doğalgaz sahası sularındaki iyot ile aynı kökenlidir ve organik maddece zengin kayaçlardan türemiştir. Dolayısıyla, incelenen petrolü havzaların jeolojik ve hidrojeokimyasal verileri, iyotça zengin yüzey ve yeraltı suları (bu sular, aynı zamanda petrol hidrokarbonlarınca da zengindir) ile petrol sistemleri arasındaki yakın ilişkiyi kanıtlamaktadır. Bu yakın ilişki, soğuk ve sıcak yüzey ve yeraltı sularında yapılacak iyot analizleri ile petrol ve doğalgaz potansiyeli bilinmeyen bir havzanın potansiyelinin değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bu ilişki, gelecek arama hedeflerinin belirlenmesi açısından da önemlidir.

## Kaynakça

- Allexan S., Fausnaugh J., Goudge C., Tedesco S., 1986. The Use of Iodine in Geochemical Exploration for Hydrocarbons. *Assoc. of Petroleum Geochemical Explorationist*, II, 1, 12/86: 71-93
- Birkle P., 2005. Compositional Link Between Thermal Fluids in Mexican Deep Reservoirs. *Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005*
- Bohlke J.K., Irwin J.J., 1992. Laser Microprobe Analyses of Cl, Br, I and K in Fluid Inclusions: Implications for Sources of Salinity in Some Ancient Hydrothermal Fluids. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56: 201-225
- Bojarski L., 1970. Die Anwendung der Hydrochemischen Klassifikation bei Sucharbeiten auf Erdöl. 2. *Angew. Geol.*, 16:123-125 (in Collins, A.G, 1975. *Geochemistry of Oilfield Waters. Developments in Petroleum Science*, 1, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 496 p.)
- Boschetti T., Toscani L., Shouakar-Stash O., Iacumin P., Venturelli G., Mucchino C., Frappe S.K., 2011. Salt Waters of the Northern Apennine Foredeep Basin (Italy): Origin and Evolution. *Aquatic Geochemistry*, 17: 71-108
- Campos J.C., Borges R.M.H., Filho A.M.O., Nobrega R., Sant'Anna Jr. G.L., 2002. Oilfield Wastewater Treatment by Combined Microfiltration and Biological Processes. *Water Research*, 36, 95-104
- Chen J., Liu D., Peng P., Ning C., Xiaolin H., Baoshou Z., 2016. Iodine-129 Chronological Study of Brines from an Ordovician Paleokarst Reservoir in the Lunnan Oilfield, Tarim Basin. *Applied Geochemistry*, 65: 14-21
- Collins A.G., 1969. Chemistry of Some Anadarko Basin Brines Containing High Concentration of Iodine. *Chemical Geology*, 4: 169-187
- Collins A.G., Egleeson G.C., 1967. Iodine Abundance in Oilfield Brines in Oklahoma. *Science*, 156: 934-935
- Collins A.G., Bennett J.H., Manuel O.H., 1971. Iodine and Algae in Sedimentary Rocks Associated with Iodine Rich Brines. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 82: 2607-2610
- Collins A.G, 1975. *Geochemistry of Oilfield Waters. Developments in Petroleum Science-1*, Elsevier, 496 p.
- Cosgrove M.E., 1970. Iodine in Bituminous Kimmeridge Shale of the Dorset Coast in England. *Geochim. Cosmochim. Acta*: 34, 830-836
- Coustau H., 1977. Formation Waters and Hydrodynamics. *Journal of Geochemical Exploration*, 7: 213-241
- Çelik M., Sarı A., 2002. Geochemistry of Formation Waters from Upper Cretaceous Calcareous Rocks of Southeast Turkey. *Journal Geological Society of India*. 59: 419-430

- Dean G.A., 1963. The Iodine Content of Some New Zealand Drinking Waters with A Note on the Contribution from Sea Spray to the Iodine in Rain. *New Zealand J. Science*, 6: 208-214
- Djunin V.I. and Korzun A.V., 2010. *Hydrogeodynamics of Oil and Gas Basins*. Springer Science+Business Media B.V., DOI 10.1007/978-90-481-2847-1, 395 p.
- Edmunds W.M., 1973. Trace Element Variations Across an Oxidation-Reduction Barrier in A Limestone Aquifer. *Proceedings of Symposium on Hydrogeochemistry and Biogeochemistry*, Tokyo, 7-9 September 1970, 500-526
- Elderfield H., Truesdale V.W., 1980. On the Biophilic Nature of Iodine in Sea Water. *Earth Planet. Sci. Lett.* 50: 105-111
- Eroğlu A., Aksoy N., 2003. Jeotermal Suların Kimyasal Analizi. VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 143-183
- Fabryka-Martin J.T., 1984. Natural Iodine-129 As Environmental Tracer. University of Arizona. MSc. Thesis, 149 p.
- Fabryka-Martin J.T., Bentley H., Elmore D. and Airey P.L., 1985. Natural Iodine-129 As Environmental Tracer. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49: 337-347
- Fabryka-Martin J.T., Davis S.N. and Elmore D., 1987. Applications of  $^{129}\text{I}$  and  $^{36}\text{Cl}$  in Hydrogeology. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.*, B29: 361-371
- Fehn U., 2012. Tracing Crustal Fluids: Applications of Natural  $^{129}\text{I}$  and  $^{36}\text{Cl}$ . *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 40: 45-67
- Fehn U., Snyder G.T., 2003. Origin of Iodine and  $^{129}\text{I}$  in Volcanic and Geothermal Fluids from the North Island of New Zealand: Implications for Subduction Zone Processes. *Economic Geology, Special Publications*, 10: 159-170
- Fehn U., Moran J.E., Snyder G.T., Muramatsu Y., 2007a. The Initial  $^{129}\text{I}/\text{I}$  Ratio and the Presence of “Old” Iodine in Continental Margins. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms*, 259: 496-502
- Fehn U., Snyder G.T., Muramatsu Y., 2007b. Iodine as A Tracer of Organic Material:  $^{129}\text{I}$  Results from Gas Hydrate Systems and Fore Arc Fluids. *Journal of Geochemical Exploration*. 95(1-3): 66-80
- Fehn U., Snyder G.T., 2003. Origin of Iodine and  $^{129}\text{I}$  in Volcanic and Geothermal Fluids from the North Island of New Zealand: Implications for Subduction Zone Processes. *Economic Geology, Special Publications*, 10: 159-170
- Fehn U., Peters E.K., Tullai-Fitzpatrick S., Kubik P.W., Sharma P., Teng R.T.D., Gove H.E., Elmore D., 1992.  $^{129}\text{I}$  and  $^{36}\text{Cl}$  Concentrations in Waters of the Eastern Clear Lake Area, California: Residence Times and Source Ages of Hydrothermal Fluids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56: 2069-2079
- Fehn U., Tullai-Fitzpatrick S., Teng R.T.D., Gove H.E., Kubik P.W., Sharma P., Elmore D., 1990. Dating of Oil Field Brines Using  $^{129}\text{I}$ . *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B52*: 446-450

- Fehn U., Tullai S., Teng R.T.D., Elmore D., Kubik P.W., 1987. Determination of  $^{129}\text{I}$  in Heavy Residues of Two Crude Oils. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.*, B52: 446-450
- Fu Y., Zhan H., 2009. On the Origin of Oil-Field Water in the Biyang Depression of China. *Environmental Geology*, 58: 1191-1196
- Fuge R., Johnson C.C., 1986. The Geochemistry of Iodine - A Review. *Environ. Geochem. Health*. 8(2): 31-54
- Gallagher A.V., 1984. Iodine: A Pathfinder for Petroleum Deposits. in *Unconventional Methods in Exploration III*, Southern Methodist University, Dallas, TX, pp. 148-159
- Ginis Y.V., 1966. Hydrogeological Conditions and Hydrochemistry of Iodine-Bromine Waters in the Kura Lowlands and Prospects of Exploration for New Fields. Dissertation. Baku
- Gieskes J.M., Mahn C., 2007. Halide Systematics in Interstitial Waters of Ocean Drilling Sediment Cores. *Appl. Geochem.*, 22: 515-533
- Gordon T.L., Ikramuddin M., 1988. The Use of Iodine and Selected Trace Metals in Petroleum and Gas Exploration. *Geologic Society of America Abstracts with Programs*, 20(7): 228.
- Goudge C.K., 2007. Geochemical Exploration, Sample Collection and Survey Design in *Society of Independent Professional Earth Scientists Quarterly*, v. XXXXVIII, no. 1.
- Goudge C.K., 2009. Graystone Exploration Labs Inc, Golden, Colorado. Retrieved from [www.graystonelab.com](http://www.graystonelab.com)
- 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.
- Guliev I.S., 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
- Harkness J.S., Dwyer G.S., Warner N.R., Parker K.M., William A., Mitch W.A., Vengosh A., 2015. Iodide, Bromide and Ammonium in Hydraulic Fracturing and Oil and Gas Wastewaters: Environmental Implications. *Environ. Sci. Technol.* DOI: 10.1021/es504654n
- Harvey G.R., 1980. A Study of the Chemistry of Iodine and Bromine in Marine Sediments. *Marine Chemistry* 8: 327-332
- Hora K., 2016. Iodine Production and Industrial Applications. *IDD Newsletter*, [http://www.ign.org/newsletter/idd\\_aug16\\_iodine\\_production.pdf](http://www.ign.org/newsletter/idd_aug16_iodine_production.pdf)
- Hoşhan P., Çelik S., Çanga B., 2008. Inspection and Control of Corrosion Problems for Production Oil Wells Tubing and Rod in Adıyaman Oil Fields. *International Corrosion Symposium*, Izmir, Turkey, 13-20
- Houston S.J., 2007. *Formation Waters in Petroleum Reservoirs; Their Controls and Applications*. The University of Leeds, School of Earth and Environment, PhD Thesis, 240 p.

- Hummel S., 2011. The Use of Iodine to Characterize Formation Waters in Oil and Gas Fields. Syracuse University. MSc. Thesis, 66 p.
- İnan A., 1982. Azerbaycan'ın Çamur Volkanları. Yeryuvarı ve İnsan, 7(1): 4-5
- Jin Z., Cao J., Hu W., Zhang Y., Yao S., Wang X., Zhang Y., Tang Y., Shi X., 2008. Episodic Petroleum Fluid Migration in Fault Zones of the Northwestern Junggar Basin (Northwest China): Evidence from Hydrocarbon-Bearing Zoned Calcite Cement. AAPG Bulletin, 92, 9: 1225-1243
- Kartsev A.A., Tabasaranskii S.A., Subbota M.I., Mogilevsky G.A., 1959. Geochemical Methods of Prospecting and Exploration for Petroleum and Natural Gas (P. A. Witherspoon and W. D. Romey, eds., English translation) : Berkeley, Univ. Calif. Press, 238 p.
- Kendrick M.A., Phillips D., Wallace M., Miller J.McL., 2011. Halogens and Noble Gases in Sedimentary Formation Waters and Zn-Pb Deposits: A Case Study from the Lennard Shelf, Australia. Applied Geochemistry, 26: 2089-2100
- Kennedy H.A., Elderfiel H., 1987. Iodine Diagenesis in Pelagic Deep-Sea Sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta, 51: 2489-2504
- Kharaka Y.K., Hanor J.S., 2007. Deep Fluids in the Continents: I. Sedimentary Basins. Treatise on Geochemistry, 5: 1-48
- Kim R., Kim J., Ryu J., Chang H., 2006. Salinization Properties of A Shallow Groundwater in A Coastal Reclaimed Area, Yeonggwang, Korea. Environmental Geology, 49: 1180-1194
- Knipe R.J., 1993. The Influence of Fault Zone Processes and Diagenesis on Fluid Flow. In: Diagenesis and Basin Development (Ed. by E. D. Horbury and A. G. Robinson), Amer. Ass. Petrol. Geol. Studies in Geology, 36: 135-154
- Knott D., 1998. Elf Details Caspian Sea Exploration Plans. Oil & Gas Journal, 96: 15
- Kokh A.A., Novikov D.A., 2014. Hydrodynamic Conditions and Vertical Hydrogeochemical Zonality of Groundwater in the Western Khatanga Artesian Basin. Water Resources, 41(4): 396-405
- Kurchikov A.R., Plavnik A.G., 2009. Clustering of Groundwater Chemistry Data with Implications for Reservoir Appraisal in West Siberia. Russian Geology and Geophysics 50: 943-949
- Kudel'sky A.V., 1977. Prediction of Oil and Gas Properties on A Basis of Iodine Content of Subsurface Waters. Geologiya Nefti i Gaza, 4: 45-49
- Land L.S., 1991. Evidence for Vertical Movement of Fluids, Gulf Coast Sedimentary Basin. Geophys. Res. Lett., 18(5): 919-922
- Lawrence S.R., Cornfordt C., 1995. Basin Geofluids. Basin Research, 7: 1-7



- Leaver J.S., Thomasson M.R. 2002. Case Studies Relating Soil-Iodine Geochemistry to Subsequent Drilling Results. in Schumacher, D., and LeSchack, L. D., eds., Surface Exploration Case Histories: Application of Geochemistry, Magnetism and Remote Sensing, AAPG Studies in Geology no. 48, and SEG Geophysical References Series no. 11: 41-57
- Lee R., Seright R., Hightower M., Sattler A., Cather M., McPherson B., Wrotenbery L., Martin D., Whitworth M., 2002. Strategies for Produced Water Handling in New Mexico. Groundwater Protection Council Produced Water Conference, [http://www.gwpc.org/meetings/special/PW%202002/Papers/Robert\\_Lee\\_PWC2002.pdf](http://www.gwpc.org/meetings/special/PW%202002/Papers/Robert_Lee_PWC2002.pdf)
- Lemay T.G., Konhauser K.O., 2006. Water Chemistry of Coalbed Methane Reservoirs. Alberta Geological Survey. Special Report 081. 354 p.
- Levinson A.A., 1980. Introduction to Exploration Geochemistry, Applied Publishing, IL, p. 924.
- Li K., Cai C., He H., Jiang L., Cai L., Xiang L., Huang S., Zhang C., 2011. Origin of Palaeo Waters in the Ordovician Carbonates in Tahe Oilfield, Tarim Basin: Constraints from Fluid Inclusions and Sr, C and O Isotopes. *Geofluids*, 11: 71-86
- Lloyd J.W., Howard K.W.F., Pacey N.R., Tellam J.H., 1982. The Value of Iodide as A Parameter in the Chemical Characterization of Groundwaters. *Journal of Hydrology*, 57: 247-265
- Liu X., Fehn U., Teng R.T.D., 1997. Oil Formation and Fluid Convection in Railroad Valley, NV: A Study Using Cosmogenic Isotopes to Determine the Onset of Hydrocarbon Migration. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 123: 356-360
- Lu Z., Hummel S.T., Lautz L.K., Hoke G.D., Zhou X., Leone J., Siegel D.I., 2015. Iodine as A Sensitive Tracer for Detecting Influence of Organic-Rich Shale in Shallow Groundwater. *Applied Geochemistry*, 60: 29-36
- Mani D., Kumar T.S., Rasheed M.A., Patil D.J., Dayal A.M., Rao T.G., Balaram V., 2011. Soil Iodine Determination in Deccan Syncline, India: Implications for Near Surface Geochemical Hydrocarbon Prospecting. *Natural Resources Research*, 20(1): 75-88
- Martin J.B., Gieskes J.M., Torres M., Kastner M., 1993. Bromine and Iodine in Peru Margin Sediments and Pore Fluids: Implications for Fluid Origins. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 4377-4389
- Mazzini M., Svensen H., Planke S., Guliyev I., Akhmanov G.G., Fallik T., Banks D., 2009. When Mud Volcanoes Sleep: Insight from Seep Geochemistry at the Dashgil Mud Volcano, Azerbaijan. *Marine and Petroleum Geology*, 26: 1704-1715
- Means J.L., Hubbard N.J., 1987. Short-Chain Aliphatic Acid Anions in Deep Subsurface Brines: A Review of Their Origin, Occurrence, Properties, and Importance and New Data on Their Distribution and Geochemical Implications in the Palo Duro Basin, Texas. *Org. Geochem.* 11(3): 177-191
- Moran J.E., Fehn U., Hanor J.S., 1995. Determination of Source Ages and Migration of Brines from the U.S. Gulf Coast Basin Using <sup>129</sup>I. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 5055-5069

- Moran, J.E., Fehn, U., Ray, T.D., 1998. Variations in  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  in Recent Marine Sediments: Evidence for A Fossil Organic Component. *Chem. Geol.*, 152: 193-203
- Muramatsu Y., Wedepohl K.H., 1998. The Distribution of Iodine in the Earth's Crust. *Chemical Geology*, 147: 201-216
- Muramatsu Y., Yoshida S., Fehn U., Amachi S., Ohmomo Y., 2004. Studies with Natural and Anthropogenic Iodine Isotopes: Iodine Distribution and Cycling in the Global Environment. *Journal of Environmental Radioactivity*, 74: 221-232
- Muramatsu Y., Doi T., Tomaru H., Fehn U., Takeuchi R., Matsumoto R., 2007. Halogen Concentrations in Pore Waters and Sediments of the Nankai Trough, Japan: Implications for The Origin of Gas Hydrates. *Appl. Geochem.*, 22: 534-556
- Novikov D.A., 2012. Hydrogeology of Oil-And-Gas Bearing Deposits of the Severnyi Arch (Northern Areas of the West Siberian Megabasin (WSMB)). *Oil and Gas Business*, 4: 521-535
- Novikov D.A., 2013a. Hydrogeochemical Features of Petroleum-Bearing Deposits of the Yamal Peninsula. *Oil and Gas Business*, 1: 114-143
- Novikov D.A., 2013b. Hydrogeology of the Western Part of the Yenisei-Khatanga Regional Trough. *Neftegazovaya Geologiya, Teoriya I Praktika*, 8(1), [www.ngtp.ru/rub/4/2\\_2013.eng.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/2_2013.eng.pdf)
- Okandan E., Mehmetoğlu T., Doyuran V., Demiral B., Parlaktuna M., Gümrah F., Kuru E., Behlülgil K., Karacan Ö., Karaaslan U., 1994. Petrol Arama ve Üretim Faaliyetlerinin Çevre Üzerindeki Etkisi, Proje No.YBAG-0057, 92 s. (Yayımlanmamış)
- Oppo D., Capozzi R., Nigarov A., Esenov P., 2014. Mud Volcanism and Fluid Geochemistry in the Cheleken Peninsula, Western Turkmenistan. *Marine and Petroleum Geology*, 57: 122-134
- Oppo D., Capozzi R., 2015. Spatial Association of Mud Volcano and Sandstone Intrusions, Boyadag Anticline, Western Turkmenistan. *Basin Research*, 1-13, doi: 10.1111/bre.12136
- Osborn S.G., Mcintosh J.C., Hanor J.S., Biddulph D., 2012. Iodine-129,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , and Trace Elemental Geochemistry of Northern Appalachian Basin Brines: Evidence for Basinal-Scale Fluid Migration and Clay Mineral Diagenesis. *American Journal of Science*, 312: 263-287
- Özdemir A., 2009. İyot Üretimi Amaçlı Yapılan Sondaj Çalışmaları. *Madencilik Türkiye Dergisi*, 1: 26-28
- Özdemir A., 2018a. Güneydoğu Anadolu Havzasında Petrol ile İyot İlişkisi. *MTA Dergisi* <http://dx.doi.org/10.19076/mta.464160>
- Özdemir A., 2018b. Suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) Analizinin Petrol ve Doğalgaz Arama Amaçlı Kullanımı: Türkiye'den İlk Önemli Sonuçlar. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* (baskıda)
- Özdemir A., 2018c. Relationships of Formation, Migration and Trapping between Petroleum and Iodine. *Natural and Engineering Sciences* (baskıda)

- Özdemir A., 2018d. Türkiye'nin İyotça Zengin Suları ve Petrol ve Doğalgaz Potansiyeli. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi* (baskıda)
- Özdemir A., 2018e. Hasanoğlan (Ankara) Petrol Sisteminin Organik Hidrojeokimyasal Kanıtları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, doi: 10.5505/pajes.2018.12316
- Özdemir A., Turgay S.O., Şahinoğlu A., 2018. High Accuracy Estimation with Computer-Aided Hydrogeochemical Methods of Oil and Gas Deposits in Wildcat Sedimentary Basins. *Journal of Applied Geology and Geophysics*, 6(4): 62-104
- Parker K.M., Zeng T., Harkness J., Vengosh A., Mitch, V.A., 2014. Enhanced Formation of Disinfection by Products in Shale Gas Wastewater-Impacted Drinking Water Supplies. *Environ. Sci. Technol.*, 48: 11161-11169
- Planke S., Svensen H., Hovland M., Banks D.A., Jamtveit, B., 2003. Mud and Fluid Migration in Active Mud Volcanoes in Azerbaijan. *Geo-Mar. Lett.* 23: 258-268
- Potter II, R.W., Harrington P.A., Silliman A.H., Viellenave J.H., 1996. Significance of Geochemical Anomalies in Hydrocarbon Exploration. in D. Schumacher and M. A. Abrams, eds., *Hydrocarbon migration and its near-surface expression: AAPG Memoir* 66: 431-439
- Price N.B., Calvert S.E., 1977. The Contrasting Geochemical Behaviors of Iodine and Bromine in Recent Sediments from the Namibian Shelf. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 41: 1769-1775
- Qiao X., Zhang Z., Yu J., Ye X., 2008. Performance Characteristics of a Hybrid Membrane Pilot-Scale Plant for Oilfield-Produced Wastewater. *Desalination*, 225(1-3): 113-122
- Reich M., Snyder G.T., Álvarez F., Pérez A., Palacios C., Vargas G., Cameron E.M., Muramatsu Y., Fehn U., 2013. Using Iodine Isotopes to Constrain Supergene Fluid Sources in Arid Regions: Insights from the Chuquicamata Oxide Blanket. *Economic Geology*, 108: 163-171
- Reichter B.C., Kreitler C.W., 1993. *Geochemical Techniques for Identifying Sources of Groundwater Salinization*. CRC Press, 272 p.
- Rogers S.G., 1917. *Chemical Relations of the Oil-Field Waters in San Joaquin Valley, California*. United States Geological Survey. 119 p.
- Sakroon S.A., 2008. *Effect of Oilfield Brine on Groundwater Quality in Marmul Area, Sultanate of Oman*. United Arab Emirates University, MSc. Thesis, 146 p.
- Schoeneich K., 1971. Indices of Oil Bearing Deposits as Based on the Formation Waters of Poland. *Nafta (Pol.)*, 27: 154-157 (in Coustau H., 1977. Formation waters and hydrodynamics. *Journal of Geochemical Exploration*, 7: 213-241)
- Senger K., Millett J., Planke S., Ogata K., Eide C.H., Festøy M., Galland O., Jerram D.A., 2017. Effects of Igneous Intrusions on the Petroleum System: A Review. *First Break*, 35: 1-10

- Shi P., Fu B., Ninomiya Y., Sun J., Li Y., 2012. Multispectral Remote Sensing Mapping for Hydrocarbon Seepage-Induced Lithologic Anomalies in the Kuqa Foreland Basin, South Tian Shan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 46: 70-77
- Singh R.R., Saxena J.G., Sahota S.K., Chandra K., 1987. On the Use of Iodine as an Indicator of Petroleum in Indian Basins, 1st India Oil and Natural Gas Comm. Petroleum Geochemistry and Exploration in the Afro-Asian Region International Conference Proceedings, pp. 105-107
- Stueber A.M., Walter L.M., Huston T.J., Pushkar P., 1993. Formation Waters from Mississippian-Pennsylvanian Reservoirs, Illinois Basin, USA: Chemical and Isotopic Constraints on Evolution and migration. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 57, 163-784
- Snyder, G.T., Fehn, U., 2002. Origin of Iodine in Volcanic Fluids: <sup>129</sup>I Results from The Central American Volcanic Arc. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66(21): 3827-3838
- Snyder G.T., Fabryka-Martin J.T., 2007. <sup>129</sup>I and <sup>36</sup>Cl in Dilute Hydrocarbon Waters: Marine-Cosmogenic, In Situ, and Anthropogenic Sources. In: G.T. Snyder & J.E. Moran (Eds.), special issue: The halogens and their isotopes in marine and terrestrial aqueous systems, *Applied Geochemistry*, 22: 692-704
- Tedesco S.A., 1995. *Surface Geochemistry in Petroleum Exploration*. Springer-Science+Business Media, BV., p. 206.
- Tedesco S.A., Goudge C., Fausnaugh J., Alexon S., 1987. Iodine-An Exploration Tool for Oil and Gas. *Oil & Gas Journal*, 85(26): 74-77
- Tedesco S., Goudge C., 1989. Application of Iodine Surface Geochemistry in the Denver-Julesburg Basin. *Association of Petroleum Geochemical Explorationists Bulletin*, 5(I): 49-72
- Tellam J.H., 1995. Hydrochemistry of the Saline Groundwaters of the Lower Mersey Basin Permo-Triassic Sandstone Aquifer, UK. *Journal of Hydrology*, 165: 45-84
- Togo Y.S., Takahashi Y., Amano Y., Matsuzaki H., Suzuki Y., Terada Y., Muramatsu Y., Ito, K., Iwatsuki T., 2016. Age and Speciation of Iodine in Groundwater and Mudstones of the Horonobe Area, Hokkaido, Japan: Implications for the Origin and Migration of Iodine During Basin Evolution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2016.07.012>
- Togo Y.S., Kazahaya K., Tosaki Y., Morikawa N., Matsuzaki H., Takahashi M., Sato T., 2014. Groundwater, Possibly Originated from Subducted Sediments, in Joban and Hamadori Areas, Southern Tohoku, Japan. *Earth, Planets and Space*, 66, 131
- Tomaru H., Lu Z., Fehn U., Muramatsu Y., 2009a. Origin of Hydrocarbons in the Green Tuff Region of Japan: <sup>129</sup>I Results from Oil Field Brines and Hot Springs in the Akita and Niigata Basins. *Chemical Geology*, 264: 221-231
- Tomaru H., Fehn U., Lu Z., Takeuchi R., Inagaki F., Imachi H., Kotani R., Matsumoto R., Aoike K., 2009b. Dating of Dissolved Iodine in Pore Waters from the Gas Hydrate Occurrence Offshore Shimokita Peninsula, Japan: <sup>129</sup>I Results from The D/V Chikyu Shakedown Cruise. *Resource Geology*, 59(4): 359-373

- Tsunogai S., 1971. Iodine in the Deep Water of the Ocean. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 18: 913-919
- Tullai S., Tubbs L. E., Fehn U., 1987. Iodine Extraction from Petroleum for Analysis of  $^{129}\text{I}/\text{I}$  Ratios by AMS. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*, 29: 383-386
- Urazov G.G., 1919. *Baku Iodine Lakes. Materials for the Study of Russian Natural Manufacturing Forces*. Petrograd.
- UNDP, 2007. *Groundwater Resources of the Kura-Aras River Basin*. 30 p.  
[http://aoa.pbe.eea.europa.eu/tools/virtual\\_library/bibliography-details-each-assessment/answer\\_4398130913/w\\_assessment-upload/index\\_html?as\\_attachment:int=1](http://aoa.pbe.eea.europa.eu/tools/virtual_library/bibliography-details-each-assessment/answer_4398130913/w_assessment-upload/index_html?as_attachment:int=1)
- UNESCO, 2004 (Zektser, I.S. and Everett, L.G., eds.). *Groundwater Resources of the World and Their Use*. 346 p.
- USGS, 2007. *Assessment of Undiscovered Natural Gas Resources of the Sacramento Basin Province of California*. Fact Sheet 2007-3014
- U.S. 2017. *Geological Survey National Produced Waters Geochemical Database v2.2*.  
<https://energy.usgs.gov/EnvironmentalAspects/EnvironmentalAspectsofEnergyProductionandUse/ProducedWaters.aspx>
- Veil J.A., 2006. Comparison of Two International Approaches to Controlling Risk from Produced Water Discharges. Paper presented at the 70th PERF meeting, Paris, France
- Warren J.K., 2006. *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1035 p.
- White D.E., 1957. Thermal Waters of Volcanic Origin. *Bulletin of the Geological Society of America*, 68: 1637-1668
- Whittemore D.O., Basel C.L., Galle O.K., Waugh T.C., 1981. *Geochemical Identification of Saltwater Sources in the Smoky Hill River Valley, Mcpherson, Saline, and Dickson Countries, Kansas*. Kansas Geological Survey, Open-file Report 81-6, p. 78
- Wilke-Dörfurt E., 1927. Über den Jodgehalt einiger Gesteine und seine Beziehungen zum chemischen Teil des Kropfproblems. *Ann. Chem.*, 453: 288 (in Correns, C.W., 1956. *The Geochemistry of the Halogens*. *Physics and Chemistry of the Earth*, 1: 181-233)
- Worden R.H., 1996. Controls on Halogen Concentrations in Sedimentary Formation Waters. *Mineralogical Magazine*, 60: 259-274
- Xun Z., Cijun L., Xiumin J., Qiang D., Lihong T., 1997. Origin of Subsurface Brines in the Sichuan Basin. *Groundwater*, 35(1): 53-58
- Yang S. 2017. *Fundamentals of Petrophysics*. Springer-Verlag GmbH, 502 p.
- Zonn I.S., Kostianoy A.G., Kosarev A.N., Glantz M.H., 2010. *The Caspian Sea Encyclopedia*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 525 p.