



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



Arama ve üretim petrol sektöründe geliştirilmiş petrol üretiminin rolü, Türkiye örneği^{a*}

The role of enhanced oil recovery in the upstream petroleum sector, a Turkey case

Emre ÖZGÜR^{a*}

^a Petrol İşleri Genel Müdürlüğü – Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, Türkiye. orcid.org/0000-0001-5407-9189

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:
Geliştirilmiş petrol üretimi, arama ve üretim, ham petrol üretimi, Türkiye.

ÖZ

Arama ve üretim petrol sektörü halen dünya çapındaki popülaritesini korumaktadır. Geliştirilmiş petrol üretimi (EOR), petrol sektöründe üretimi arttırmaya yönelik önemli ve geleneksel olmayan bir yöntemdir. EOR, sektörde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Halihazırda, dünya ham petrol üretiminin %2'si EOR faaliyetleri ile gerçekleştirilmektedir. Günümüzde azalış eğiliminde olan Türkiye ham petrol üretimi, eski ve olgunlaşmış petrol sahalarından yapılmaktadır. Yeni sahalar keşfedilmediği ve de üretimi artırma teknikleri uygulanmadığı sürece, yakın bir tarihte petrol üretiminde keskin düşüşler beklenmektedir. Türkiye’de ham petrol sahalarındaki ortalama üretim faktörü yaklaşık %20 civarındadır. Bu orandaki bir artış Türkiye’deki ham petrol üretiminin önemli miktarda artmasına neden olabilir. EOR yöntemleri ile ham petrol üretim oranı halihazırda %15 civarındadır. Bu çalışmada, daha önce yürütülen EOR projeleri açıklanmış ve Türkiye’deki ham petrol sahaları için olası EOR yöntemleri tartışılmıştır. Araştırmanın amacı, EOR yöntemlerine dayalı olarak, dünyadaki EOR uygulamalarından elde edilen istatistiksel bilgileri kullanarak petrol sahalarının özelliklerini karşılaştırarak, Türkiye’deki mevcut petrol sahalarından ham petrol üretim potansiyelini değerlendirmektir.

Geliş Tarihi: 15.01.2018
Kabul Tarihi: 08.05.2018

Keywords:
Enhanced oil recovery, upstream, crude oil production, Turkey.

ABSTRACT

The upstream petroleum sector issues still keep its popularity worldwide. Enhanced Oil Recovery (EOR) is an essential unconventional method of improving production in the petroleum sector. The EOR is gaining more importance in the sector. 2% of the global crude oil production is performed by EOR operations currently. The crude oil production of Turkey which is now in a decreasing trend is performed from old and mature oil fields. Sharp declines are expected for the oil production in the near future if new discoveries do not take place or enhanced oil production techniques are not performed. The average recovery rate for the crude oil fields in Turkey is about at 20%. An increase in this ratio can provide significant amount of crude oil to Turkish production. The ratio of crude oil production by EOR methods is about 15% currently in Turkey. In this study, the historical background of EOR projects is explained and potential EOR methods have been discussed for Turkish crude oil fields. The aim of the research is to evaluate the crude oil production potential from existing oil fields of Turkey based on EOR methods matching with the characteristics of oil fields with statistical information on world EOR outlook.

1. Giriş

Dünyadaki enerji tüketimi her yıl artmaktadır. Tüm yakıt türleri arasında ilk sırada yer alan ham petrol, %32 tüketim ile dünyanın öncelikli enerji kaynağını

oluşturmaktadır (IEA, 2017). Diğer taraftan, ham petrol rezervleri ve yeni ham petrol saha keşifleri azalmaktadır. Mevcut rezervlerin verimli kullanılması, yeni petrol saha keşiflerinden gelebilecek ham petrole eşdeğer önemli miktarda üretimle sonuçlanabilir. Ham

* Başvurulacak yazar: Emre ÖZGÜR, emreozgur@gmail.com
<http://dx.doi.org/10.19111/bulletinofmre.444903>.

MTA Dergisi hem İngilizce hem Türkçe olarak yayımlanmakta olup makalelere yapılacak atıfların İngilizce baskısına yapılması gerekmektedir.

petrol üretimi birincil, ikincil ve Geliştirilmiş Petrol Üretimi (EOR) olarak da bilinen üçüncül aşama olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. EOR projelerinin dünya çapında aktif olarak kullanımına petrol krizinin ilk defa ortaya çıktığı 1973 yılında başlanmış olup sonrasında stabil olmayan petrol fiyatları nedeniyle dalgalı bir davranış sergilemiştir. EOR faaliyetlerinin ciddi anlamda ekonomik ve teknik zorluklar getirdiği söylene de özel şirketler dünya genelinde EOR faaliyetlerinin %80'ini gerçekleştirmektedirler.

1.1. Geliştirilmiş Petrol Üretimi (Geri Kazanımı)

Ham petrol üretiminin ilk aşaması doğal akış veya yapay çekme (pompa) yoluyla gerçekleşen birincil üretimdir. İkinci aşama is su veya gaz enjeksiyonu (rezervuardan elde edilen gaz ile) gerçekleştirilen ikincil üretimdir. EOR'nin önemi petrolün API gravitesinin düşmesiyle birlikte artmaktadır, çünkü EOR ile üretilebilen ham petrolün payı, ham petrolün API gravitesi düştükçe artmaktadır. Ağır ham petrol rezerv koşullarında EOR oranı neredeyse %90 seviyesine ulaşabilmektedir (Sheng, 2013).

Hali hazırda dünya genelinde ham petrol sahalarındaki ortalama üretim faktörü, rezerv hacminin 1/3'ü oranındadır. Çatlaklı yapıları, heterojen olmaları, petrol-su eğilimleri, düşük geçirgenlik ve poroziteden dolayı karbonat rezervlerinde bu oran kumtaşı rezervleri ile karşılaştırıldığında daha düşüktür (Sheng, 2013). Türkiye'deki tüm ham petrol sahaları, ortalama %20 üretim faktörüne sahip olan karbonat tipi rezervuarlardır (Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, 2017). Türkiye'deki ham petrol sahalarının düşük üretim faktörüne sahip olması fazla viskoziteye, düşük graviteli ham petrole ve zayıf rezervuar basıncı destek mekanizmalarına sahip olmalarından da kaynaklanmaktadır.

2. EOR Yöntemleri

Termal Yöntemler, Kimyasal Yöntemler, Gaz Enjeksiyon Yöntemleri gibi başlıca EOR yöntemleri değişen derecelerde petrol sektöründe ticari olarak başarılı bulunmuştur (Sheng, 2013). Termal EOR sıcak su enjeksiyonu, yerinde yakma ve buhar enjeksiyonu gibi işlemleri içermektedir. Termal EOR'nin amacı ağır petrolü ısıtmak ve viskozitesini azaltarak hareketlendirmektir. Termal EOR içerisinde en geçerli yöntem ise ısı verimi ve daha iyi kontrol edilmesi sebebiyle buhar enjeksiyonudur. Kimyasal EOR yöntemi ise sürfaktan, alkali ve polimer enjeksiyonu

gibi işlemleri içermektedir. Kimyasal EOR'nin amacı ham petrol, su ve kaya arasındaki yüzey gerilimini azaltmaktır. Polimer basma işleminde viskoz karışma etkisini önlemek amacıyla viskozite ayarlaması da yapılmaktadır. EOR yöntemlerinden gaz enjeksiyonu ise çoğunlukla CO₂, CH₄ ve N₂ enjeksiyonunu kapsamaktadır. Bunların hepsi de şişme etkisi yaratarak ham petrolün viskozitesini düşürmeyi ve ham petrolü hareketlendirmeyi amaçlamaktadır. Yöntemin seçimi, rezervuar parametrelerine ve gaz kaynağının mevcudiyetine bağlıdır. Bilinen EOR yöntemlerinden ayrı olarak, mikroorganizma enjeksiyonu ve akıllı su enjeksiyonu, ham petrol üretiminde pozitif, negatif etkisi olabilen veya hiç bir etkisi olmayan, henüz deneme aşamasında olan petrol endüstrisindeki yeni EOR yöntemleridir. Bu yöntemler üzerindeki çalışmalar çoğunlukla laboratuvar testlerine odaklanmakta ve rapor edilen sonuçlar bu yöntemlerin kullanımı konusunda bir fikir birliği ortaya koymamaktadır. Teknik nedenlerle kumtaşı rezervuarlarında termal ve kimyasal yöntemler uygundur; bununla birlikte, hem karbonat hem de kumtaşı rezervuarlarında gaz enjeksiyonu ve diğer EOR yöntemleri uygulanabilir.

3. Dünya Genelindeki EOR Faaliyetleri

Günümüzde dünya ham petrol üretiminin %2'sini oluşturan günlük 1.4 milyon varil ham petrol sağlayan yaklaşık 280 EOR faaliyeti bulunmaktadır (Kooftungal, 2014; IEA, 2017). Ülke ve yönetime göre EOR faaliyetlerinin bir listesi çizelge 1'de sunulmuştur. Çin'e ait veriler eksik olduğundan, çizelgede Çin yer almamaktadır; Çin'deki üretimin buhar teknolojileri yoluyla 150 kb/d ve polimer enjeksiyonu yoluyla ise 20 kb/d olmak üzere yaklaşık 170 kb/d olduğu tahmin edilmektedir (IEA, 2013). EOR projelerinin %55'i Amerika Birleşik Devletleri'nde, %15'i Kanada'da ve %15'i ise Venezuela'da aktif haldedir. Geriye kalan yüzdede ise diğer ülkeler faaliyet göstermektedir. Üretim miktarları açısından EOR'un %31'i ABD, %27'si Venezuela, %24'ü Kanada merkezli üretimden ve geriye kalan ise diğer ülkelerden gelmektedir. Ağır petrol yataklarına sahip ülkelerde EOR'un rolü daha da önem kazanmaktadır. Bu duruma örnek vermek gerekirse, ham petrol üretiminde EOR oranı ABD'de %5, Kanada'da %10 ve dünya ortalamasının üzerinde olan Venezuela'da ise % 15'dir. Termal EOR'un rolü dünya çapında en yüksek düzeydedir. Gaz enjeksiyon yöntemleri termal yöntemleri takip etmektedir. Yöntemlere göre dünya EOR üretimi şekil 1'de verilmiştir.

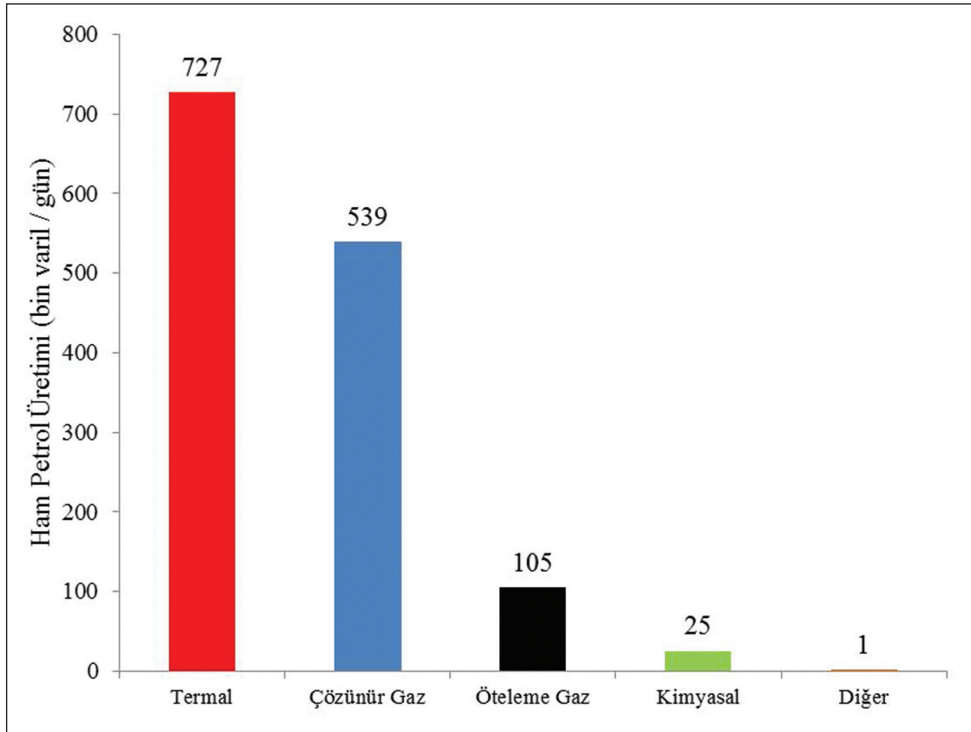
Çizelge 1-Ülkeye ve Yönteme göre EOR Uygulamaları (Koottungal, 2014).

Ülke	EOR Yöntemi	Saha Sayısı
ABD	Çözünür CO ₂ Enjeksiyonu	127
ABD	Öteleme CO ₂ Enjeksiyonu	9
ABD	Çözünür Hidrokarbon Gaz Enjeksiyonu	12
ABD	Öteleme Hidrokarbon Gaz Enjeksiyonu	2
ABD	Öteleme N ₂ Enjeksiyonu	3
ABD	Kimyasal Enjeksiyon	3
Almanya	Buhar Enjeksiyonu	8
Brezilya	Öteleme CO ₂ Enjeksiyonu	1
Brezilya	Çözünür CO ₂ Enjeksiyonu	2
Brezilya	Mikroorganizma Enjeksiyonu	1
Brezilya	Buhar Enjeksiyonu	5
Endonezya	Buhar Enjeksiyonu	2
Hollanda	Buhar Enjeksiyonu	1
Kanada	Çözünür CO ₂ Enjeksiyonu	7
Kanada	Çözünür Hidrokarbon Gaz Enjeksiyonu	20
Kanada	Buhar Enjeksiyonu	10
Kanada	Öteleme N ₂ Enjeksiyonu	1
Kanada	Polimer Enjeksiyonu	2
Mısır	Buhar Enjeksiyonu	1
Trinidad	Buhar Enjeksiyonu	9
Trinidad	Çözünür CO ₂ Enjeksiyonu	5
Trinidad	Sıcak Su Enjeksiyonu	2
Türkiye	Öteleme CO ₂ Enjeksiyonu	1
Venezuela	Buhar Enjeksiyonu	43
Venezuela	Yerinde Yakma	1
Venezuela	Kimyasal Enjeksiyon	1
Venezuela	Çözünür Hidrokarbon Gaz Enjeksiyonu	4

4. Türk Arama ve Üretim Petrol Sektöründe EOR'nin Tarihi ve Değerlendirmesi

Bugüne kadar Türkiye'de dört ham petrol sahasında altı gelişmiş petrol geri kazanım faaliyeti gerçekleştirilmiştir (Şahin vd., 2014). EOR projelerine genel bakış çizelge 2'de sunulmuştur. 1986 yılından bu yana Batı Raman petrol sahasında halen devam etmekte olan yalnızca bir adet öteleme CO₂ enjeksiyonu EOR projesi bulunmaktadır. Türkiye'de başlatılan ilk EOR projesi, Batı Raman petrol sahasında yapılan buhar enjeksiyonudur. İkiztepe petrol sahasında buhar enjeksiyonu ve öteleme CO₂ enjeksiyonu gerçekleştirilmiştir. Öteleme CO₂ enjeksiyonu da Çamurlu ve Batı Kozluca petrol sahalarında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar CO₂ enjeksiyon projeleri için umut vericidir. Ancak, CO₂ rezervinin tükenmesini önlemek amacıyla sahada geri dönüşüm ünitesinin inşasına kadar Batı Kozluca'daki EOR projesi durdurulmuştur. Çamurlu ve İkiztepe petrol sahalarındaki CO₂ projeleri ise teknik ve ekonomik nedenlerle durdurulmuştur (Şahin vd., 2012). Batı Raman sahasında devam etmekte olan öteleme CO₂ projesi haricinde, diğer EOR faaliyetleri daha ziyade Türkiye'deki araştırma projeleri olmuştur.

Hubbert eğrisi yaklaşımına dayalı olarak, Türkiye'deki ham petrol üretimi muhtemelen 2040-



Şekil 1- Yönteme göre Dünya EOR Üretimleri (Koottungal, 2014).

Çizelge 2- Türkiye’de EOR’nin uygulandığı ham petrol sahalarının listesi.

İl	Saha	EOR Yöntemi	Operatör	Yıllar
Batman	Batı Raman	Öteleme CO ₂ Buhar	TPAO	1986-devam (CO ₂) 1967-1969 (buhar) 2012-2013 (buhar)
Şırnak	Batı Kozluca	Öteleme CO ₂	TPAO	2003-2007
Mardin	Çamurlu	Öteleme CO ₂	TPAO	1984-1986
Mardin	İkiztepe	Öteleme CO ₂ Buhar	TPAO-JNOC	1993-1995

(JNOC: Japon Ulusal Petrol Şirketi, TPAO: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı)

2045 yılları arasında sona erecektir (Özgür, 2016). Türkiye’deki önemli petrol sahalarında EOR projeleri gerçekleştirilmesi halinde sahalarındaki üretilebilir rezerv miktarı artırılabilir ve üretim ömrü uzatılabilir.

Batı Raman sahasında CO₂ enjeksiyonu faaliyeti devam etmektedir. Bu yöntemin diğer alanlarda uygulanması, Türkiye’deki petrol üretimini önemli ölçüde artırabilir. Ivanhoe ve Leckie tekniğine (Ivanhoe ve Leckie, 1993) göre, Türkiye’nin güneydoğusunda teknik ve ekonomik açıdan üçüncül üretim yöntemlerinin uygulanmasına müsait olan 25 milyon varilin üzerinde üretilebilir rezerve sahip 10 adet önemli ham petrol sahası bulunmaktadır. Sahalar için uygun geliştirilmiş petrol üretim yöntemleri, rezervuar özellikleri ve geliştirilmiş petrol üretim yönteminin kriterleri göz önünde bulundurularak seçilmiştir.

Çizelge 3- Türkiye’nin Önemli Ham Petrol Sahalarının Rezerv Özellikleri (PIGM, 2017).

Saha	Formasyon	Ø	k, md	Derinlik, m	Tuzluluk (1000 ppm)	T,°C	API	µ, cp
Raman	kireçtaşı	14	50	1360	40	60	18	60
B. Raman	kireçtaşı	18	58	1300	120	65	13	600
Kurkan	kireçtaşı	15	9	1600	20	55	31	9
B. Kayaköy	kireçtaşı	17	4	1890	5	58	35	5
Beykan	kireçtaşı	12	1	1900	25	58	33	4
Şelmo	dolomitik kireçtaşı	7	100	1890	12	77	34	3
Karakuş	dolomitik kireçtaşı	6	100	2700	30	118	30	3
Garzan	kireçtaşı	11	15	1450	45	70	24	7
Kayaköy	kireçtaşı	15	2	2100	10	60	38	3
K. Karakuş	dolomitik kireçtaşı	6	100	2590	25	110	30	3

Buhar enjeksiyonu, yerinde yakma, sıcak su enjeksiyonu, alkali enjeksiyonu, polimer enjeksiyonu, sürfaktan enjeksiyonu, mikroorganizma enjeksiyonu, çözüner/öteleme gaz enjeksiyonu, akıllı su enjeksiyonu ve diğer yöntemler de çalışmada araştırılmıştır.

Bölgedeki petrol sahalarının uygun özellikleri, termik santraller, çelik fabrikaları, çimento fabrikaları, rafineriler, şeker fabrikalarının karbon kaynak potansiyeli nedeniyle, CO₂ enjeksiyon yöntemi Türkiye için en uygun gelişmiş petrol üretim yöntemidir. Kaynaklar ile sahalar arasında bir boru hattı ağının kurulması, CO₂ enjeksiyonunun kapsamını genişletebilir ve sonuç olarak çevresel, ekonomik ve stratejik faydalara yol açabilir. Üretilen ilave ham petrolün neredeyse keşfedilecek iki büyük petrol sahasından yapılacak üretime eşit olması beklenmektedir.

4.1. Türkiye’de EOR ile İlgili Değerlendirme ve Tahminler

Türkiye’deki ham petrol sahaları karbonat türündedir. EOR faaliyetlerinin karbonat rezervlerinde sınırlı bir uygulama alanına sahip olduğu bir gerçektir. Dünya çapındaki EOR ham petrol üretiminin %80’i kumtaşı rezervlerinde yapılmaktadır (Kootungal, 2014). Bununla birlikte, karbonat sahalarına verilecek iyi örnekler de mevcuttur. Türkiye’deki başlıca ham petrol sahalarının rezerv özellikleri çizelge 3’te verilmiştir. Değerlendirmeler, sahaların rezerv parametrelerine dayanmaktadır.

Kimyasal EOR yöntemleri kumtaşı formasyonlarında uygulanabilmektedir. Bu nedenle, kimyasal EOR, karbonat tipi rezervuarlardan dolayı Türkiye için bir seçenek olarak kabul edilmemektedir.

Termal yöntemler de kumtaşı için daha pratiktir, ancak belirli durumlarda karbonat kayalarda da uygulanabilirler. Bu çalışmada Türkiye için termal yöntemler önerilmese de olası bir test çalışması durumu için buhar enjeksiyonu da değerlendirilmektedir. Literatürde 1.500 metre derinlik buhar enjeksiyonu için ekonomik limit olarak kabul edilmektedir. Daha derin rezervlerde ısı kaybı problemi ekonomik ve teknik olarak operasyonu olumsuz yönde etkilemektedir (Sheng, 2013). Raman, Batı Raman ve Garzan sahaları uygun buhar enjeksiyonu faaliyetleri için gerekli olan kriterlere uymaktadır.

Mikroorganizma enjeksiyonu ve akıllı su enjeksiyonu gibi diğer EOR yöntemleri de pilot saha çalışmaları ve uygulamaları için araştırma amaçlı incelenmiştir. Mikroorganizma enjeksiyonu için rezervuar sıcaklığı ve tuzluluğu önemlidir. Genel olarak söylemek gerekirse, mikroorganizma aktivitelerinin artışı için sıcaklık 70 °C'den düşük olmalı ve tuzluluk 50.000 ppm'den daha az olmalıdır. Ayrıca, rezervuardaki mikroorganizmaların dağılımı için nispeten yüksek geçirgenlik daha iyidir. Raman sahası, mikroorganizma enjeksiyonu pilot uygulaması için ideal bir petrol sahası gibi görünmektedir. Akıllı su enjeksiyonu için yüksek sıcaklığa sahip bir rezervuar iyi bir seçenektir. Karakuş ve Kuzey Karakuş sahaları kriterleri karşılamakta olup ayrıca düşük tuzlu su kaynaklarına (göl ve nehir gibi) da yakındırlar.

Tüm EOR yöntemleri arasında CO₂ gazı enjeksiyon yöntemi, Türkiye'deki petrol sahaları için en uygun yöntemdir. "Batı Raman" petrol sahalarının iyi bir örnek teşkil etmeleri ve iyi rezervuar parametrelerine sahip olmaları gaz enjeksiyonunu Türkiye için en iyi seçenek haline getirmektedir. Üretim faktörünün, çözünür CO₂ gazı enjeksiyonu ile %15, öteleme CO₂

gazı enjeksiyonu ile %10 artırması beklenmektedir (Sheng, 2013; Perera vd., 2016). Rezervuar sıcaklığı, rezervuar basıncı ve enjekte edilen gaz bileşimi ile birlikte ham petrolün API değeri, enjeksiyon tipinin çözünür veya öteleme enjeksiyon olup olmayacağını belirlemek için en önemli unsurlardan biridir (Meyer, 2007). Belirli bir API değerinden sonra enjeksiyon işleminin türü, enjeksiyon basıncından bağımsız olarak gerçekleştirilir. 25 API üzerindeki gravite değerlerine sahip petrol sahaları pratikte çözünür gaz enjeksiyonu için iyi adaylardır (Perera vd., 2016). 25'ten daha az API gravite değerlerine sahip Raman, Batı Raman ve Garzan sahaları, öteleme gaz enjeksiyonu için uygundur. Öte yandan Kurkan, Batı Kayaköy, Beykan, Şelmo, Karakuş, Kayaköy ve Kuzey Karakuş sahaları çözünür gaz enjeksiyonu için uygundur.

Sahaların özellikleri ve EOR yöntemleri göz önüne alındığında Türkiye'de halihazırda üretim yapılan sahalardan 385 milyon varil ham petrol üretilebilir. Türkiye'deki Batı Raman örneğine göre 385 milyon varil petrol üretmek için 85,42 milyon ton CO₂ gereklidir; bir varil petrolün üretimi için 4.5 ton CO₂ gereklidir (PİGM, 2017). EOR projesi 35 yıllık bir süre için planlanmaktadır. Yıllık CO₂ ihtiyacı yaklaşık 2,5 milyon ton olacaktır. Gereken CO₂ miktarı bölgede yapılacak boru hatları aracılığıyla çimento fabrikalarından sağlanabilmektedir. Çimento fabrikalarının yıllık CO₂ emisyonu yaklaşık 15 milyon ton olup Türkiye'nin güneydoğu bölgesinde yer alan fabrikalardan bölgedeki EOR faaliyetleri için yeterli miktarda CO₂ temin edilebilir (Okandan vd., 2011). Türkiye'deki petrol sahalarının EOR analizi çizelge 4, çizelge 5 ve şekil 2'de sunulmuştur. Ham petrol sahalarına ait rezerv bilgileri çizelge 5'de verilmiştir (PİGM, 2017).

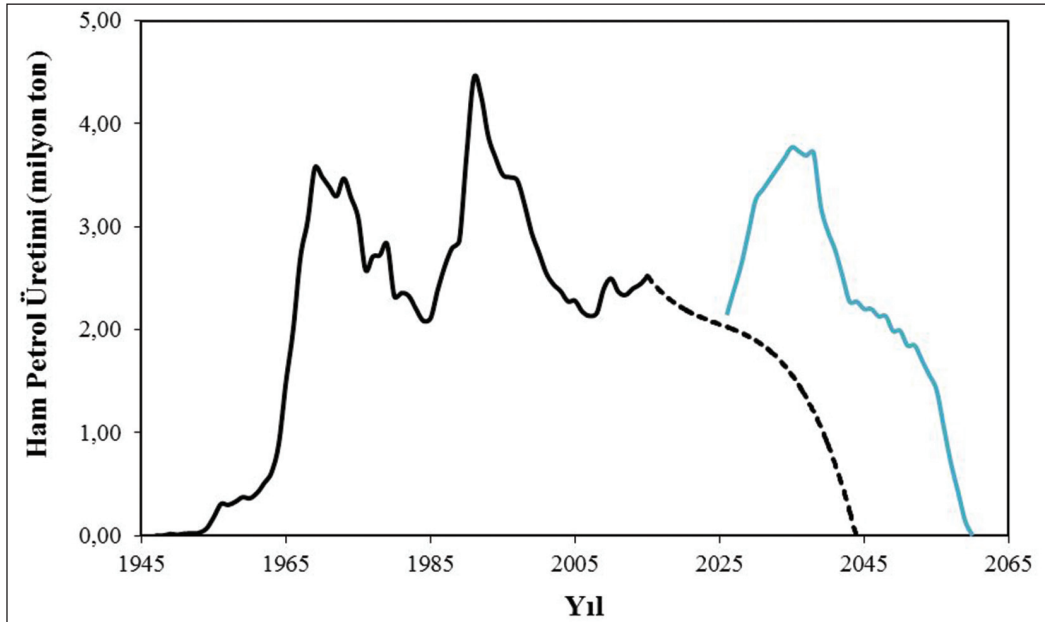
Çizelge 4- Türkiye'nin Önemli Ham Petrol Sahalarının EOR Analizi (PİGM, 2017).

10 Önemli Ham Petrol Sahasının Teknik Bilgileri	
Mevcut Petrol Rezerv Miktarı, milyon varil	4536,6
Üretilebilir Rezerv Miktarı, milyon varil	841,1
Üretim Faktörü, %	18,5
Önerilen EOR Yöntemi	Çözünür/Öteleme CO₂ Enjeksiyonu
EOR Sonrası Yeni Üretim Faktörü, %	27,0
EOR Sonrası İlave Ham Petrol Üretimi, milyon varil	384,4
Gerekli CO ₂ Miktarı (milyon ton)	85,42

Tablo 5- Türkiye'deki Önemli Ham Petrol Sahalarının EOR Potansiyeli Tahmini (PIGM, 2017).

Saha	Yerinde Petrol Rezervi	Üretilebilir Rezerv	Üretim Faktörü	Önerilen EOR Yöntemi	Yeni Üretim Faktörü	İlave Petrol Üretimi
Raman	615,3	146,9	23,9	Öteleme CO ₂	33,9	61,7
Batı Raman	1841,0	192,9	10,5	Öteleme CO ₂	12,0	28,0
Kurkan	287,0	67,3	23,4	Çözünür CO ₂	38,4	42,9
Batı Kayaköy	225,6	63,4	28,1	Çözünür CO ₂	43,1	33,8
Beykan	432,8	89,8	20,7	Çözünür CO ₂	35,7	64,7
Şelmo	539,0	99,3	18,4	Çözünür CO ₂	33,4	80,7
Karakuş	209,1	61,6	29,5	Çözünür CO ₂	44,5	31,4
Garzan	199,1	46,5	23,4	Öteleme CO ₂	33,4	20,0
Kayaköy	99,9	31,2	31,2	Çözünür CO ₂	46,2	15,0
Kuzey Karakuş	87,8	42,2	48,1	Çözünür CO ₂	55,0	6,1
Toplam	4536,6	841,1	18,5 (ort.)	-	27,0 (ort.)	384,4

(Rezerv ve üretim miktarları milyon varil olarak verilmiştir.)



Şekil 2- Türkiye'nin Geçmişteki Ham Petrol Üretimi ve Gelecek Tahmini (Siyah çizgi: geçmiş yıl üretimleri, kesikli çizgi: petrol üretim tahmini, mavi çizgi: EOR üretimi ile petrol üretim tahmini).

5. Sonuçlar

EOR projelerinin pahalı faaliyetler olmalarına ve kalifiyeli çalışanlar gerektirmelerine rağmen, sahalardaki mevcut altyapı ve boru hatları bir avantaj olup ilave petrol arama maliyetleri olmadan üretilen petrolün piyasaya kolayca ulaştırılmasını sağlamaktadır. Dünya genelindeki EOR bazlı ham petrol üretiminin %20'si ulusal petrol şirketleri tarafından gerçekleştirilmektedir (Kootungal,

2014). Geriye kalanı yüzde ise özel petrol şirketleri tarafından üretilmekte olup bu da dünya genelindeki EOR projelerinin fizibilite açısından olumlu olduğunu göstermektedir. EOR yöntemleri ile ham petrol üretiminin şu anki oranı dünyadaki üretimin yaklaşık % 2'sidir (günlük 1,4 milyon varil); ancak Uluslararası Enerji Ajansı (IEA, 2017) raporuna göre bu oran 2040 yılına kadar % 4,25'e (günlük 4,3 milyon varil) çıkacaktır.

Türkiye’de halihazırda 132 adet ham petrol sahası bulunmaktadır, bunlardan 10 tanesi (Batı Raman, Raman, Kurkan, Batı Kayaköy, Beykan, Şelmo, Karakuş, Garzan, Kayaköy ve Kuzey Karakuş) üretilebilir rezervleri 25 milyon varilden fazla olan önemli sahalardır. Şu anda Türkiye ham petrol üretiminin %15’ini oluşturan Türkiye’nin en büyük ham petrol sahası olan Batı Raman’da 30 yıldır uygulanan aktif bir öteleme CO₂ EOR projesi var. EOR yöntemlerinden öteleme/çözünür CO₂ enjeksiyonunun uygulanması, diğer sahalarda mevcut olanla birlikte uygulanması ile bu 10 sahanın ortalama üretim faktörünü %18.5’ten % 27’ye çıkarılarak, yaklaşık 385 milyon varil ilave ham petrol temin edilebilir. Bu yöntem ile halihazırda 2040-2045 olması beklenen ham petrolün rezerv ömrü 2060-2065 yıllarına kadar uzatılabilir. Son olarak, araştırma amaçlı ve pilot uygulama şeklinde diğer EOR yöntemleri arasında mikroorganizma enjeksiyonu Raman petrol sahası, akıllı su enjeksiyonu ise Karakuş ve Kuzey Karakuş sahaları için ideal görünmektedir.

Türkiye’de mevzuat açısından bazı düzenlemeler üzerine şunlar söylenebilir. EOR ile yapılan ham petrol üretimi için alınan devlet hissesinde indirim yapılması, petrol şirketleri için iyi bir motivasyon olacaktır. Düşük ham petrol fiyatları, ham petrol üretim trendinin azalması ve petrol aramaları için Türkiye’nin zorlu jeolojik koşulları göz önüne alındığında, böyle bir düzenlemenin uygulamaya konulması uzun vadede olumlu sonuçlara yol açabilir.

Kısaltmalar

API Gravitesi: Amerikan Petrol Enstitüsü Gravitesi

CO₂: Karbondioksit

EOR: Geliştirilmiş Petrol Geri Kazanımı

k: geçirgenlik, md

kb/d: günlük bin varil

μ: viskozite, cp

Ø: porozite

Değinen Belgeler

- Ivanhoe, L.F., Leckie, G.G. 1993. Global oil, gas fields, sizes tallied, analyzed. *Oil Gas. J.* 91 (7), 8–91.
- Koottungal, L., 2014. Worldwide EOR survey, *Oil & Gas Journal*.
- Meyer, J.P. 2007. Summary of carbon dioxide enhanced oil recovery (CO₂ EOR) injection well technology. American Petroleum Institute - Background Report.
- Okandan, E., Karakece, Y., Çetin, Ç., Topkaya, I., Parlaktuna, M., Akın, S., Bulbul, S., Dalha, C., Anbar, S., Cetinkaya, C., Ermis, I., Yılmaz, M., Ustun, V., Yapan, K., Erten, A.T., Demiralın, Y., Akalan, E. 2011. Organize sanayi bölgelerindeki CO₂ emisyonlarının değerlendirilmesi, Türkiye’de yeraltında depolama potansiyeli ve bir petrol sahasında depolama modellemesi, *Energy Procedia* 4, 4849-4856.
- Özgür, E. 2016. Türkiye’deki Upstream petrol yasası ve faaliyetleri. *Enerji Politikası* 88, 131-137.
- Perera, M.S.A., Gamage, R.P., Rathnaweera, T.D., Ranathunga, A.S., Koay, A., Choi, X. 2016. A review of CO₂-enhanced oil recovery with a simulated sensitivity analysis. *Energies* 9 (7), 481.
- Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (PGİM). 2017. www.pigm.gov.tr
- Sheng, J. 2013. Enhanced Oil Recovery Field Case Studies, Gulf Professional Publishing.
- Şahin, S., Kalfa, Ü., Çelebioğlu D., Duygu, E., Lahna, H. 2012. Türkiye’deki Batı Raman ağır petrol sahasında karışmayan CO₂ EOR projesinin uygulanmasında yirmi beş yıllık ilerleme, PMO (Petrol Mühendisleri Odası) 157865.
- Şahin, S., Kalfa, Ü., Uysal, S., Kılıç, H., Lahna, H. 2014. Türkiye’deki Batı Raman sahasında halihazırda CO₂ enjekte edilen derin-ağır petrollü karbonat rezervinde buhar enjeksiyonu pilot bölgesinin tasarımı, uygulanması ve ön faaliyet sonuçları, PMO (Petrol Mühendisleri Odası) 169035-MS.
- Uluslararası Enerji Ajansı (IEA). 2013. Dünya Enerji Raporu.
- Uluslararası Enerji Ajansı (IEA). 2017. Dünya Enerji Raporu.

