



# MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

## DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE BİTÜMLÜ ŞEYL

### HAZIRLAYANLAR

Ragıp Zafer Fatih COŞKUN Maden Yük. Müh.

Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı

2019



## İçindekiler

1. GİRİŞ.....	4
2. OLUŞUMU .....	6
2.1. Bitümlü Şeyllerin Sınıflandırılması.....	8
3. FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ.....	11
3.1. Fischer Tahlil Yöntemi.....	11
4. BİTÜMLÜ ŞEYL YATAKLARI VE YAPILAN TEKNOLOJİK ÇALIŞMALAR .....	12
4.1. Dünyadaki Önemli Yataklar.....	12
4.1.1. Amerika Birleşik Devletleri .....	13
4.1.2. Avustralya .....	14
4.1.3. Brezilya .....	15
4.1.4. Çin.....	15
4.1.5. Estonya .....	17
4.1.6. Fas.....	18
4.1.7. İsrail.....	19
4.1.8. İsveç .....	19
4.1.9. Kanada.....	19
4.1.10. Rusya.....	20
4.1.11. Suriye.....	20
4.1.12. Tayland.....	20
4.1.13. Ürdün.....	20
4.2. Ülkemizdeki Yataklar.....	21
4.2.1. Amasya-Çeltek .....	21
4.2.2. Ankara-Beydili .....	21
4.2.3. Ankara-Beypazarı.....	22
4.2.4. Balıkesir-Burhaniye.....	22
4.2.5. Bolu-Hatıldağ .....	22
4.2.5. Bolu-Himmetoğlu.....	23
4.2.6. Bolu-Mengen .....	23
4.2.7. Çorum-Dodurga.....	24
4.2.8. Kocaeli-Bahçecik .....	24
4.2.9. Kütahya-Seyitömer.....	25
4.2.10. Niğde-Ulukışla .....	26
5. REZERVLER.....	27
5.1. Dünya Rezervleri.....	27
5.2. Ülkemiz Rezervleri.....	27

6. TEKNOLOJİK İŞLEMLER.....	29
6.1. Alberta Taciuk Prosesi (ATP) .....	29
6.2. Fushun Prosesi.....	29
6.3. Galoter Prosesi.....	30
6.4. Kiviter Prosesi .....	30
6.5. Lurgi-Ruhrgas Prosesi .....	31
6.6. Paraho Prosesi.....	31
6.7. Petrosix Prosesi.....	31
6.8. TOSCO II Prosesi.....	32
6.9. Yerinde (In Situ) Dönüşüm Yöntemleri .....	32
7. ÜRETİM VE KULLANIM ALANLARI .....	34
8. HAMMADENİN TİCARETİ .....	37
9. HAMMADENİN ZAYIF YANLARI .....	39
10. BİTÜMLÜ ŞEYLİN FİZİBİLİTESİ.....	41
11. DEĞERLENDİRME.....	42
12. SONUÇ .....	44
KAYNAKLAR.....	46

Şengüler Dr. İ., “Bitümlü Şeyl” (MTA Kütüphanesi “468 Ş 476 b” numaralı yayın).

Taka M., Şengüler İ. ve Dr. Şener M.,1992, “Dodurga (Çorum) Yöresi Bitümlü Şeyllerinin Jeolojisi Ve Kullanım Olanakları”, MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No 9529, sy. 1-27, Ankara.

Taka M. ve Işık A., 1988, “Bahçecik (İzmit) Bitümlü Şeyl Sahasının Jeolojisi ve Ekonomik Olanakları”, MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No 8748, sy.1-17, Ankara.

Taka M. ve Şener M., 1988, “Himmetoğlu (Göynük-Bolu) Sahasının Bitümlü Şeyl Olanakları ve Sondajları”, MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No 8533, sy.1-20, Ankara.

“The Alberta Taciuk Process Its Advancements, Capabilities, and Advantages”, Word Heavy Oil Congress 2016, Canada, ([https://www.umatac.ca/includes/media/downloads/WHO\\_C16-263\\_UMATAC\\_ATP-Process.pdf](https://www.umatac.ca/includes/media/downloads/WHO_C16-263_UMATAC_ATP-Process.pdf)).

Toraman Ö. Y. ve Uçurum M., 2009, “Alternatif Fosil Enerji Kaynağı: Bitümlü Şeyl”, Tübvav Bilim Dergisi Cilt:2, Sayı:1, sy.37-46.

TradeMap, Trade statistics for international business development, (<https://www.trademap.org>)

Türkiye İstatistik Kurumu, Dış Ticaret İstatistikleri, (<http://www.tuik.gov.tr/PreTabloArama.do?metod=search&araType=vt>).

Valgma I., 2007, "Map Of Oil Shale Mining History in Estonia", (<http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/mgis/mapofhistory.htm>).

Youngquist W., 2005, “Survey of Energy Resources: Oil Shale”, (<https://www.resilience.org/stories/2005-04-23/survey-energy-resources-oil-shale/>).

- Li Prof. S., 2012, "The developments of Chinese oil shale activities", Oil Shale, 2012, Vol. 29, No. 2, pp.101–102, Estonya.
- Murat Dr. A. ve Kadıncık Dr. G., 2010, "Petrollü Şeyl", Mavi Gezegen Yıl 2010 Sayı 15 sy. 48-54, Ankara.
- "Oil Shale Energy To Fuel Our Future", 2013, The National Oil Shale Association (NOSA), 28sy., (www.oilshaleassoc.org).
- "Oil Shale Industry", ([https://wikivisually.com/wiki/Oil\\_shale\\_industry](https://wikivisually.com/wiki/Oil_shale_industry)).
- "Oil Shale in Jordan", (<https://www.enefit.jo/en/oilshale/in-jordan>).
- Özcan K., 2012, "Petrol Jeolojisi Çalışma Notları", 24sy., (www.kursatozcan.com).
- Resmi Gazete 1. Mükerrer nüshası 23.07.2019 tarihli ve 30840 sayılı, "On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)", (<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/07/20190723M1-1-1.pdf>)
- Resmi Gazete 15 Şubat 2015 tarihli ve 29980 (Mükerrer) sayılı, "Gümrük Genel Tebliği (Gümrük Tarife Cetveli İzahnamesi) (Seri No: 3) Fesil 27 Mineral Yakıtlar, Mineral Yağlar ve Bunların Damıtılmasından Elde Edilen Ürünler; Bitümenli Maddeler; Mineral Mumlar (<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/02/20170215M1-1.htm>)
- Sümer A., 1981, "Burhaniye (Balıkesir) Bitümlü Şist Sahasının Jeolojisi ve Ekonomik Olanakları", MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No 7150, sy.1-19, Ankara.
- Şengüler İ. ve Usta K., 2016, "Ulukışla (Niğde) Ar: 201201329, Ar: 201201279, Ar: 201201215, Ar: 201201272 ve Ar: 201201258 No.lu Bitümlü Şeyl Ruhsat Sahaları Etüt Raporu", MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No 11895, sy.1-29, Ankara.
- Şengüler Dr. İ., 2012, "Petrollü Şeylden (Bitümlü Şeyl) Sentetik Ham Petrol (SCO)", ([http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2011\\_12/2011\\_12\\_Petrollu\\_seyl.pdf](http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2011_12/2011_12_Petrollu_seyl.pdf)).
- Şengüler Dr. İ., 2007, "Asfaltit Ve Bitümlü Şeylin Türkiye'deki Potansiyeli ve Enerji Değeri", VI. Enerji Sempozyumu-Küresel Enerji Politikaları Ve Türkiye Gerçeği, Bildiriler Kitabı, sy.186-195, Ankara.
- Şener Dr. M., Şengüler İ. ve Taka M., 1992, "Çeltek (Amasya) Yöresi Bitümlü Şeyllerinin Jeolojisi ve Kullanım Olanakları", MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No 9493, sy.1-30, Ankara.
- Şener Dr. M. ve Şengüler İ., 1992, "Hatıldağ (Bolu-Göynük) Bitümlü Şeyl Sahasının Jeolojisi ve Teknolojik Kullanım Olanakları", MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No 9445, 62sy., Ankara.
- Şengüler İ., 1988, "Mengen (Bolu) Bitümlü Şeyl Sahasının Jeolojisi Ve Ekonomik Olanakları", MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No 8460, sy.1-23, Ankara.

## 1. GİRİŞ

Organik kayaçlar içinde önemli bir yeri olan bitümlü şeyl; organik çözücülerde çözünmeyen ve kerojen<sup>1</sup> adı verilen mumsu organik madde içeren, ince taneli ve genellikle laminalı bir yapıya sahip sedimanter kayaç olarak tanımlanmaktadır.

Bitümlü şeylin genellikle "şeyl" tanımına uyması için en az %67 kil mineralinden oluşan bir lamine kayaç olması gerektiği belirtilmektedir. Bununla birlikte; bazen şeyller, kil minerallerinin %67'den az olmasına rağmen yeterli miktarda organik madde ve karbonat mineralleri içerebilmektedir.

Bitümlü şeyller, mineral ve element içeriği bakımından, kömürden ayrılmaktadır. Bitümlü şeyller, yüzde 40'tan az mineral madde içeren kömürlerden çok daha büyük miktarlarda mineral madde (yüzde 60-90) içerir. Sıvı ve gaz halindeki hidrokarbonların kaynağı olan bitümlü şeyller; organik madde açısından, linyit ve bitümlü kömürlerden daha yüksek bir hidrojen ve daha düşük oksijen içeriğine sahiptir.

Bazı bitümlü şeyllerin mineral bileşeni kalsit, dolomit ve siderit gibi karbonatlar ile daha az miktarda alüminosilikat içeren karbonatlardan oluşur. Diğer bazı bitümlü şeyllerde kuvars, feldispat içeren silikatlar da yer alır. Kil mineralleri baskındır ve karbonatlar küçük bileşen olarak bulunur. Birçok bitümlü şeyl çökeltisi, az miktarda da olsa her yerde bulunan pirit ve markazit içeren sülfidleri de barındırır. Bazı bitümlü şeyl yataklarında alunit, nakolit, davsonit<sup>2</sup>, kükürt, amonyum sülfat, vanadyum, çinko, bakır ve uranyum gibi katma değerli mineraller ve metaller yan ürün olarak bulunabilir.

Genel olarak, bitümlü şeyl ile kömürün organik maddelerinin öncülleri de farklıdır. Bitümlü şeyldeki organik maddenin çoğu alg kökenlidir. Ancak aynı zamanda daha çok kömürdeki organik maddenin çoğunu oluşturan vasküler kara bitkilerinin kalıntılarını da içerebilir. Bitümlü şeyldeki bazı organik maddelerin kaynağı, öncül organizmaların tanımlanmasına yardımcı olan biyolojik yapıların bulunmaması nedeniyle belirsizdir. Bu tür materyaller, bakteri kökenli olabileceği gibi alglerin veya diğer organik maddelerin bakteriyel bozunma ürünü de olabilir.

<sup>1</sup> Bir havzada çökellerle birlikte diyajenez geçirmiş C, H, S, N, O elementlerinden oluşan bitkisel ve hayvansal kökenli organik maddelere denir.

<sup>2</sup> Alunit (KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O), nakolit (NaHCO<sub>3</sub>), davsonit (NaAl(OH)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)

Bitümlü şeyller, bünyesinde 1/3'üne kadar katı organik madde içerebilir. Bu kayaçlardan sıvı ve gaz haldeki hidrokarbonların elde edilebilmesi için ısıtılma işleminden geçirilmesi veya çözücülerle işleme tabi tutulması gerekir. Hidrokarbon üretimi için kullanılan bu işlemlerde önemli derecede çevre kaygılarına sebep olabilecek emisyonlar ve atık ürünler de ortaya çıkabilir.

Tarihsel süreçte bitümlü şeyllere farklı adlar verilmiştir; cannel coal, stellarit, boghead coal, albertit, alüm şeyl, kerojen şeyl, bitüminit, gaz kömür, vallangit, algal kömür, bitümlü şist, torbonit, kukersit, bituminite ve wollongite.

## KAYNAKLAR

- Akyıldız G., 2012, "Petrolün Oluşumu", (<https://petrolcu.wordpress.com/2012/06/04/petrolun-olusu-mu-2/>).
- Beger M., 2017, "Estonian Oil Shale Industry Yearbook 2017", 48 p.
- Bilgin Y. ve Yazaroğlu A., 1981, "Ankara-Beyşehir Bitümlü Şist Sahası Fizibilite (Rezerv) Araştırması", MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No 6998, sy.7-37, Ankara.
- "Bitümlü Şeyl", 2016, (<https://jeolojibilgi.wordpress.com/tag/bitumlu-seyl/>).
- "Bitümlü Şeyl", (<http://www.marbleport.com/dogal-kaynaklar/66/bitumlu-seyl/>).
- Burnham A. K. (chair), 2016, "2016 EMD Oil Shale Committee Final Report", American Association of Petroleum Geologists Energy Mineral Division, 27sy.
- Dyni, J. R., 2006, "Geology and Resources of Some World Oil-Shale Deposits Reprint of: USGS Scientific Investigations Report 2005", U.S. Geological Survey, Virginia.
- Ellis R., "Oil Shale", Oil Shale Information Centre, 52sy., Londra, ([www.oilshale.co.uk](http://www.oilshale.co.uk)).
- Erol F., 2016, "Bitümlü Şeyllerden Şeyl Petrolü Eldesi", Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Semineri, 19sy., (basılmamış).
- Erol F., "Bölüm 2. Kerojen Nedir? Nasıl Oluşur?", Ders Notları, 52sy. (basılmamış).
- "Fushun ATP Project Update & Value Added Processing", Colorado School of Mines, 35th Oil Shale Symposium, Salt Lake City USA, 2015, (<https://www.umatac.ca/includes/media/downloads/UMATAC%2035th%20CSM%20Rev%200%20Final.pdf>).
- Gadonneix P., "2010 Survey of Energy Resources", World Energy Council, London, sy.93-123, Londra, ([www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)).
- "Global Oil Shale Market Professional Survey Report 2018", (<https://www.fiormarkets.com/report/global-oil-shale-market-professional-survey-report-2018-276681.html>).
- Gönenç O., 1986, "Türkiye'de MTA Tarafından Yapılan Bitümlü Şeyl Aramaları", 17sy., (MTA Kütüphanesi "468 (200) G 571 t 1986" numaralı yayın).
- Granit S. ve Şener M., 1987, "Sarıcakaya (Eskişehir) Ve Çamalan-Beydili (Ankara) Bölgesinin Jeolojisi Ve Bitümlü Şeyl Olanakları", MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No 8400, sy. 1-37, Ankara.
- "History of The Company", 2007, Viru Keemia Grupp, (<https://www.vkg.ee/eng/company/history>).
- Koel M., 1999, "Estonian Oil Shale", (<http://www.kirj.ee/public/oilshale/Est-OS.htm>).

bulunan yerli kaynaklara yönelik arama, üretim ve Ar-Ge faaliyetleri arttırılacaktır.” maddesi ve “498.3.Bitümlü şeylden sentetik petrol üretimine yönelik çalışmalar başlatılacaktır.” alt maddesi ile ifade edilmiştir.

## 2. OLUŞUMU

Bitümlü şeyl oluşumu, göl ortamında yaşayan algler ve çeşitli etkenlerle ortama karadan taşınan spor-polenin inorganik materyal ile birlikte çökmesi sonucu gerçekleşir. Kalın bitümlü şeyl yataklarının oluşabilmesi için, genellikle sakin ve indirgen bir ortam ile aynı ortamda bol organik madde bulunması şarttır. Organik maddenin oksidasyona uğramaması ve dolayısı ile korunabilmesi için organik çamur oluşturarak kısa sürede depolanması ve gömülmesi gerekir. Bitümlü şeylin inorganik ve organik olmak üzere iki ana bileşeni vardır. İnorganik bileşenler (mineraller) çökme koşulları hakkında önemli bilgiler sunar ve genellikle kuvars, kil, karbonat, sülfat, zeolit ve evaporit minerallerinden oluşmaktadır. Organik bileşenler (maseraller) ise çökme ortamı yanında bitümlü şeylin kalitesine yönelik önemli bilgileri içerir.

Bitümlü şeyl yatakları dünyanın birçok yerinde kambriyenden tersiyere kadar değişen oluşumlardır. Ekonomik değeri çok az olan veya hiç olmayan küçük yataklar veya binlerce kilometrekare alan kaplayan ve 700 m veya daha fazla kalınlığa ulaşan dev yataklar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bitümlü şeyller; tuzlu göllerde, epikontinental<sup>3</sup> deniz havzalarında ve subtidal şelflerde<sup>4</sup> ve genellikle de kömür birikintileriyle bağlantılı olarak limnik<sup>5</sup> ve kıyı bataklıkları dâhil olmak üzere çeşitli çökme ortamlarında meydana gelmiştir.

Organik maddenin sedimanlar içerisinde yer alması deniz bitkileri, deniz hayvanları veya kara bitkileri yolu ile olur. Organik madde çoğunlukla ince taneli şeyl ve kireç çamuru (mikrit) türü litolojiler içerisinde yer alır. Bu litolojiler düşük enerjili ortamlarda çöklerler. Bu ortamlar: okyanuslar, göller, lagün ortamları ve bataklık ortamlarıdır. Bütün şeyller yeterince organik madde içermeyebilir ve dolayısıyla kaynak kaya olamazlar. Organik maddece zengin şeyller organik madde üretiminin yüksek oranda olduğu bölgelerde depolanır. Okyanus ve denizlerdeki organik maddelerin tümü fotosentez sonucu oluşur. Ana üreticiler mikroskobik ölçekte yüzen bitkiler olarak bilinen planktonlardır. Bu planktonlar: diatomlar, dinofilogellatlar<sup>6</sup>, alglerdir (mavi-yeşil).

Organik madde üretimini etkileyen ikinci önemli faktör, fotik zonda N ve P gibi besin maddelerinin bolluğudur. Fosfat ve nitratlar organik maddenin parçalanmasıyla açığa çıkar ve

<sup>3</sup> Kıtaların kenarlarında kıyı çizgisinden itibaren kıta platformunun sonuna kadar olan kısım

<sup>4</sup> Gel-git altı sığ deniz

<sup>5</sup> Göller gibi düşük tuz içerikli su kütleleri

<sup>6</sup> Kamçılı, tek hücreli veya koloni halinde yaşayan organizma, fitoplanktonların önemli bir kısmını oluşturur.

bitki ve hayvanların büyümesinde önemli rol oynarlar. Fitoplanktonlar<sup>7</sup> için O<sub>2</sub>, o kadar önemli olmamasına rağmen, besin zincirinde yer alan diğer hayvanlar için önem arz etmektedir. Planktonlar, su yüzeyinde yaptıkları fotosentez sonucu açığa çıkan O<sub>2</sub> nedeniyle yüzeye yakın sularda erimiş halde O<sub>2</sub> zenginliği sağlarlar.

Organik maddeyi parçalayan bakteriler, sediman yüzeyinin 30-60 cm üstünde aerobik veya anaerobik türden olabilir. Çabuk depolanma koşullarında bakteriler çok kısa sürede faaliyet gösterebilirler ki; bu durumda organik maddenin parçalanması tamamlanmaz.

Organik maddenin korunması sırasında oksijence zengin, oksijence fakir suların bir tabakalanma göstermesi de önemlidir. Bu olay, bazı göllerde, lagünlerde ve sığ sınırlı denizel alanlarda olur. Bu tabakalanmayı oluşturan bir faktör de ortamda bulunan tuzlu su kütlesi ile ortama gelen tatlı su girişinin oluşturduğu tabakalanmadır.

Kıtasa ortamlardaysa; karasal bitkilerin parçalanmasında etkin eleman aerobik bakterilerdir. Bitki ölür ölmez mantar bakterileri devreye girer. Bunu takiben daha sonra diğer bakteriler devreye girer. Karasal organik maddenin önemli bir kısmı tabakalı göller veya anaerobik kömür bataklıklarında oluşur.

Organik maddenin hidrokarbonlara dönüşümü üç önemli evrede gerçekleşir; Diyajenez, Katajenez ve Metajenez: Organik maddenin diyajenez süreci, sediman gömülür gömülmez başlar. Bu bölümde diyajenez organik maddenin petrole dönüşümü esnasında geçirdiği bütün değişiklikleri içeren bir evre olarak tanımlanmaktadır. Henüz depolanmış çamurlar, yeteri kadar sıkışmamış ve bünyelerinin %80'i su ile dolu bulunmaktadır. Bu çamurlar, ilk 500 metre gömülmenin sonunda, çabuk gömülmenin etkisi ile gözenekliliğini büyük ölçüde kaybeder. Bu aşamadan sonra çamur taşlarının veya şeyllerin sıkışma sonucu oluşumları ve bu kayaç türlerinin fiziksel değişimi daha yavaş devam eder. Şeyller içerisinde bulunan organik madde de bazı değişikliklere uğrar. Diyajenez evresinde oluşan tek hidrokarbon türü biyojenik metan olup, anaerobik parçalanma ile açığa çıkar. Organik maddenin diyajenezi esnasındaki en son ürün kerojendir. Gömülme devam ettikçe daha derinde, daha fazla sıcaklık ve basınç altında; kerojenin ısınmasına bağlı olarak organik maddenin evriminin ikinci dönemi olan katajenez evresine geçilir. Katajenez, petrol ve doğal gaz oluşumu için kerojenin ısısal bozunmasıdır. Bu evrede ham petrol ve doğalgaz oluşmaktadır. Petrol ve gaz molekülleri yüksek hidrojen/karbon (H/C) oranına sahip olduklarında yüksek orandaki petrol oluşumu geride daha az kalıntı karbon

<sup>7</sup> Yüzer bitkiler diatom dinoflogellat

## 12. SONUÇ

Türkiye'de bitümlü şeyllerden bazı mahallî kullanımlar dışında şimdiye kadar yararlanılamamıştır. Ancak günümüzde petrol ve doğal gaz gibi enerji hammaddelerinin fiyatları ve önümüzdeki yıllar içerisinde enerji tüketiminin tedarikinde alternatif olacağı düşüncesiyle; bitümlü şeyllerden yararlanma yollarının ortaya konulması gerekmektedir.

Ülkemizdeki bitümlü şeyllerin karakteristik özelliklerinin tespit edilmesi kısa vadede büyük önem taşımaktadır. Ülkemiz şeyllerinin işleme teknolojilerinin araştırılması, yan ürünlerinin tespiti, bunların kazanımları konusunda bilgi sahibi olunması önemlidir.

Yakma teknolojilerindeki gelişmeler ve buna bağlı olarak emisyonların azaltılabilmesi, fosil yakıtların arz güvenilirliğinin yüksek olması gibi faktörler şeyllerin stratejik dayanaklarını oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra; doğrudan piroliz, yakma ve ekstraksiyon yöntemleri yanında ön işlem olarak zenginleştirme yöntemlerinin (başta ileri flotasyon teknikleri olmak üzere) geliştirilmesi faydalı olacaktır. Yerinde üretim yöntemlerinin bazı avantajlarının olduğu (örneğin gaz salınımları açısından) düşünülerek; bu yönetime yönelik çalışmaların da başlamasında fayda bulunmaktadır.

Elektrik üretiminde doğal gaza bağımlılıkla beraber enerji güvenliği açısından ve özellikle yakma teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak; yerli kaynaklardan olan bitümlü şeyllerin kullanımına yönelik adımlar mutlaka değerlendirilmelidir.

Ayrıca ileriye dönük olarak; şeyllerin kullanılmaları durumunda kül, hava kirliliği ve su gibi etmenler irdelenerek, çevre sorunlarına yönelik olabilecek çekinceler, önemli sahalarımız açısından detaylı olarak araştırılmalıdır.

Bitümlü şeyl atıklarının veya yakma ürünü küllerin büyük miktarlara ulaşacağı düşünüldüğünde; bu konudaki çalışmalar (çimento ve yapı malzemesi olarak kullanımı) hızlandırılmalı, diğer muhtemel kullanım imkânları (tarımda gübre/toprak düzenleyici veya tekstilde adsorbent olarak kullanımı gibi) üzerinde araştırmalar başlatılmalı, var olan araştırmalar geliştirilmelidir.

Sonuç olarak bu konudaki kararlılık; 23.07.2019 tarihli ve 30840 sayılı Resmi Gazete 1. Mükerrer nüshasında yayımlanan "On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)" içeriğinde "498. Enerjide dışa bağımlılığın ve cari açığın azaltılmasını teminen, yerli kaynakların daha fazla kullanılması amacıyla, başta linyit olmak üzere, jeotermal ve kaya gazı gibi yüksek potansiyeli



Dünyada Brezilya, Çin ve Estonya’da bitümlü şeyl üretimi yapılmaktadır. Bunların yanı sıra ABD Colorado’da ki yatakta pilot ölçekte çalışmalar yapılmış olup, üretim yapılması planlanmaktadır. Ülkemizdeki yatakları -yukarıdaki fizibilite ölçütleri yanı sıra- daha somut değerlendirebilmek amacıyla; dünyada üretim yapılan bu dört yatakla ülkemizde bulunan beş yatağın analiz değerlendirmesi aşağıda Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Ülkemiz ve dünyada bilinen bazı bitümlü şeyl sahalarının ait analiz değerleri.

Saha	Organik C (%)	Petrol Verimi (%)	Petrol Verimi (L/t)	Isıl Değeri (kcal/kg)
ABD Colorado	11,3	9,3	102	1120
Çin Fushun	7,9	3	32	810
Estonya	22,3	22	226	3210
Brezilya Irati	11,4	7,4	79	1500
Ankara Beypazarı	8,5	9,3	102	100-2616
Bolu Göynük	2,4	2,1	25	347-2450
Bolu Himmetoğlu	17,9	-	-	573-3350
Kütahya Seyitömer	30,9	24,5	278	152-3887
Niğde Ulukışla	7,8	3,8	42	630-2790

Not: Gönenç’ten alınmıştır.

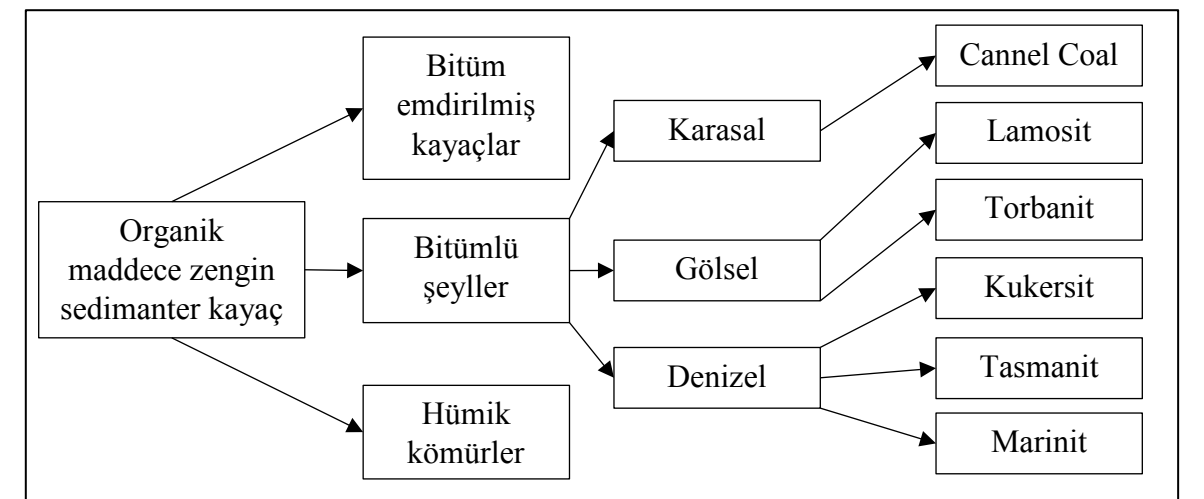
kalmasına sebep olur. Organik maddenin ısıtılma sırasındaki son evresi metajenezdir. Metajenez esnasında kerojenden itibaren doğrudan petrol ve gaz oluşumu gerçekleşmez. Buna rağmen kabul edilebilir miktarda metan oluşumu, ortamda daha önce oluşmuş ham petrolün termal parçalanması sonucu oluşabilmektedir. Bu evrede tümüyle karbondan oluşmuş grafit oluşumu da gerçekleşebilir.

## 2.1. Bitümlü Şeylerin Sınıflandırılması

Çok farklı şekilde isimlendirilen bitümlü şeyller sınıflandırma için yatakların çökeltme ortamı, organik maddenin petrografik karakteri ve organik maddeyi oluşturan öncü organizmalar temel alınarak yapılmıştır.

Bitümlü şeyl sınıflandırması, Avustralya'daki bitümlü şeyl tortularının araştırılmasında ultraviyole floresan mikroskopu kullanımına öncülük eden Adrian C. Hutton tarafından geliştirilmiştir. Petrokimya terimlerini kömür terminolojisinden uyarlayan Hutton, öncelikle organik maddenin kökenine dayalı bir bitümlü şeyl sınıflandırması geliştirmiştir. Hutton’ın sınıflandırmasında; bitümlü şeyldeki farklı türdeki organik maddelerin, bitümlü şeylden elde edilen hidrokarbonların kimyası ile ilişkilendirilmesinin daha isabetli olacağı gösterilmiştir.

Hutton 1991 yılında yaptığı yayınında, bitümlü şeyli üç çeşit organik maddece zengin sedimanter kayaç grubundan biri olarak görselleştirmiştir: (1) hümik kömür ve karbonlu şeyl, (2) bitüm emdirilmiş kayaç ve (3) bitümlü şeyl. Daha sonra bitümlü şeylleri çökeltme ortamlarına göre karasal, gölsel ve denizel olmak üzere üç gruba ayırmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Hutton’ın bitümlü şeyl sınıflandırması (Geology and Resources of Some World Oil-Shale Deposits USGS 2005 alınmıştır).

Karasal bitümlü şeyller; reçine sporları, balmumu kütikülleri<sup>8</sup> ve mantarsı kök dokular gibi lipitçe zengin organik maddelerden ve kömür oluşturan bataklıklar ve bataklıklarda yaygın olarak bulunan damarlı kara bitkilerinin köklerinden oluşan materyali içerir

Gölsel bitümlü şeyller tatlı su, acı tuzlu su veya tuzlu su göllerinde yaşayan alglerden elde edilen lipit bakımından zengin organik maddeleri içerir.

Denizel bitümlü şeyller, deniz yosunlarından elde edilen lipit bakımından zengin organik maddeden, acritarchlar<sup>9</sup> ve deniz dinoflagellatlarından oluşur.

Hutton, bitümlü şeylleri kökenlerine göre sınıflandırarak (karasal, gölsel ve denizel) altı özel şeyl tipi tanımlamıştır: cannel kömürü, torbanit, lamosit, kukersit, tasmanit ve marinit. En çok bulunan ve en büyük yatakları oluşturan marinitler ve lamositlerdir.

Cannel kömürü, çeşitli miktarlarda vitrinit ve inertinit ile birlikte karasal vasküler bitkilerden kaynaklanan reçineler, sporlar, balmumları ve mantardan oluşan siyaha yakın kahverengi bir bitümlü şeyldir. Cannel kömürleri, oksijen barındırmayan ortamlarda veya turba oluşturan bataklıklarda ve bataklıklardaki sığ göllerde meydana gelmiştir.

Lamosite soluk-grimsi kahverengi ve koyu gri ile siyah renkli bitümlü şeyldir. Burada organik madde gölsel planktonik alglerden elde edilen lamalginittir. Lamosite'in diğer bileşenleri arasında vitrinit, atalet, telalginit ve bitüm bulunur. Amerika Birleşik Devletleri'nin batısındaki Green River bitümlü şeyl yatakları ve Avustralya'nın Doğu Queensland bölgesinde bulunan üçüncü zamana ait gölsel yataklar lamositlerdir.

Torbanit, tasmanit ve kukersit organik maddenin türediği alg türleri ile ilgilidir. İsimler yerel coğrafi özelliklere dayanmaktadır. İskoçya'daki Torbane Tepesi adını taşıyan torbanite, organik maddesi esas olarak büyük oranda lipit bakımından zengin ve acı su göllerinde bulunan ilgili alg formlarından türeyen telalginitten oluşan siyah bir bitümlü şeyldir. Aynı zamanda az miktarda vitrinit ve inertinit içerir. Yataklar genellikle küçüktür, ancak çok yüksek nitelikli olabilir.

Adını Estonya, Kohtla-Järve kasabası yakınlarındaki Kukruse Malikanesi'nden alan "Kukersite", açık kahverengi denizel bitümlü şeyldir. Başlıca organik bileşeni, yeşil alglerden

<sup>8</sup> Bir organizmaya koruma sağlayan sert fakat esnek, mineral olmayan dış kaplama, koruyucu, kitinli katman

<sup>9</sup> 1,8 milyar yıl önce yaşamış mikro fosiller

## 11. DEĞERLENDİRME

Enerji kaynaklarının çeşitlenmesine karşın, günümüzde petrol halen dünyanın enerji ihtiyacının en büyük payını karşılamaktadır. Bunun yanı sıra gelecek yirmi yılda küresel enerji talebinin %44 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Bunda en büyük pay geliştirmekte olan ülkelerin artan enerji talebi olmaktadır. Bu artışın %75 olacağı tahmin edilmektedir. Sıvı hidrokarbonlara olan bu talebin, özellikle Çin ve Hindistan'ın tüketime bağlı olarak büyümesi beklenmekte olup, bu da petrol fiyatlarını artıracak ve bitümlü şeyli ekonomik açıdan daha cazip hale getirecektir.

Küresel petrol rezervlerinin 40-50 yıllık süre içerisinde mevcut üretim oranları baz alındığında önemli ölçüde düşüş kaydedeceği ve tükenme eğilimine gireceği yönünde değerlendirmeler yapılmaktadır. Geleneksel petrol kaynakları azalıyor olsa da, dünya petrol arzını karşılayabilecek kadar geleneksel olmayan petrol kaynakları mevcuttur. Bunlar: Kömür türevli sıvılar, sıvılaştırılmış gaz seçenekleri, ağır petroler, katran kumları ve bitümlü şeyller. Bununla birlikte petrolün önümüzdeki 20-30 yıl boyunca enerji çeşitliliğindeki büyük payının devam edeceği kabul edilmektedir.

Bu arada; Kyoto Protokolü çerçevesinde, küresel iklim değişikliği yasaları ve politikaları değişmezse, aynı zaman diliminde, dünyadaki enerji ihtiyacına bağlı CO<sub>2</sub> emisyonlarının üçte bir oranında artacağı ve uygulanabilir alternatif enerji kaynakları arayışının giderek acil hale geleceği belirtilmektedir. Bu duruma göre, geleneksel enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, geliştirilmesi ve kullanımının teşvik edilmesi özellikle Avrupa Birliği tarafından kabul edilmiştir. Buna istinaden yeşil enerji kaynaklarının geliştirilmesi özendirici teşviklerle desteklenmektedir. Rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerjinin en hızlı büyüyen enerji kaynağı olacağı ve küresel enerji kaynaklarının %11'ini oluşturacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizdeki duruma bakıldığında; 11. Kalkınma Planının 144, 378 ve 491. maddelerinde bu konuya değinildiği, elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların 2018'de %32,5 olan payının 2023'de %38,8 çıkarılması hususunda hedef konulduğu görülmektedir.

Bütün bunlar göz önüne alındığında; bazı işletmeciler, bitümlü şeyllerden varil başına 20 doların altında maliyetlerde şeyl petrolü üretebileceklerini iddia etmektedirler. Günümüzde bazı bitümlü şeyl yataklarının geleneksel petrol ile rekabet halinde ekonomik olarak işletilebilir olduğu görülmektedir. Petrolün mevcudiyeti ve fiyatı sonuçta büyük ölçekli bir bitümlü şeyl endüstrisinin uygulanabilirliğini etkilemektedir.

## 10. BİTÜMLÜ ŞEYLİN FİZİBİLİTESİ

Bir bitümlü şeyl yatağının işletilebilirliği irdelenirken; yatak büyüklüğü ve içeriğindeki etken bileşenler (hidrokarbonlar, kükürt vb.) dâhil olmak üzere jeolojik faktörlere ek olarak, dünya hidrokarbon piyasasındaki gelişim, şeyl petrolü üretilirken tüketilen enerji, altyapı, çevresel hususlar (kullanılan su miktarı, gaz emisyonları vb.), yan ürünler ve genel madencilik maliyetleri gibi birçok etmene bakılmaktadır.

Bitümlü şeyl yataklarını geliştirmeye yönelik çeşitli girişimciler -2005 yılında yapılan bir değerlendirmede- şeyl petrolü üretmenin maliyetinin 70-95 dolar/varil arasında değişeceğini tahmin etmişlerdir. Üretimin bir milyar varile çıktığı zaman, maliyetlerin kademeli olarak 30-40 dolar/varile düşebileceği öngörülmüştür. Nitekim Colorado'da denenen ve Ürdün'de geliştirilen yerinde dönüştürme teknolojisiyle ham petrol fiyatının varil başına 30 dolar üzerinde olması durumunda bitümlü şeylden sentetik petrol üretimin karlı olabileceği hesaplanmıştır. Bitümlü şeyllerin işlenmesindeki verimliliği arttırmak için araştırmacılar, çeşitli kopyroliz işlemlerini test etmektedirler. Denenen kopyroliz işlemleri, biyokütle veya turba gibi diğer malzemeler ya da kauçuk ve plastik atıkların beraber işlenmesini kapsamaktadır. Örneğin, İsrail'de, atık bitümlü maddelerle bitümlü şeylin birlikte beslendiği bir süreç geliştirilmiştir. Atık bitüm katalizör görevi görerek, pirolizin düşük sıcaklıklarda meydana gelmesini sağladığı belirtilmektedir. Ayrıca, pirolizin yan ürünlerini (kömürleşmiş veya gaz haldeki) yakmak için bir akışkan yataklı imbik ile akışkan yatak fırınına birleştirilerek uyarlanmış teknolojiler önerilmektedir. Yöntemin elde edilecek petrol verimini artıracığı ve kazanım süresini kısaltacağı belirtilmektedir.

Bitümlü şeyllerin ekonomik olabilmesi için organik madde içerikleri ve petrol miktarı da önem taşımaktadır. Ticari değer için 100-200 litre/ton arasında bir petrol içeriği gerekmektedir. Bir başka yaklaşıma göre ise, bitümlü şeyllerin değerlendirilmesi için organik madde/mineral madde oranının 0.75/5 ile 1.5/5 arasında olması istenmektedir.

Ayrıca çevre dezavantajına yönelik olarak; yerinde (in-situ) madencilik ve işleme teknolojileri ile çevre zararları (yüzey, hava, su gibi) en aza indirilerek, şeyl işletmeciliğinin gerçekleştirilebilir olduğu düşünülmektedir. Ancak ticari ölçekte henüz denenmemiştir.

(*Gloeocapsomorpha prisca*) elde edilen telalginitir. Finlandiya Körfezi'nin güney kıyıları boyunca Estonya'nın kuzeyindeki bitümlü şeyl yatağı ve Rusya'ya uzanan Leningrad yatağı kukersitlerdir.

Tazmanya'daki bitümlü şeyl çökeltilerinden isimlendirilen tasmanit kahverengi-siyah renkli bir şeyldir. Organik madde, esas olarak deniz kaynaklı tek hücreli tasmanitit alglerinden elde edilen telalginit ve daha az miktarda vitrinit, lamalginit ve inertinitten oluşur.

Mariniti oluşturan başlıca organik bileşenler, esas olarak deniz fitoplanktonundan elde edilen lamalginit ve bitüminittir. Denizel kökenli bu bitümlü şeyl gri, koyu gri ile siyah renklidir. Marinit ayrıca az miktarda bitüm, telalginit ve vitrinit içerir. Marinitler tipik olarak geniş sığ deniz şelflerinde veya dalga hareketlerinin kısıtlandığı ve akıntıların minimum düzeyde olduğu kıta içlerine uzanan sığ (epeirik) denizlerde yataklanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nin doğusundaki devoniyen-mississippian bitümlü şeylleri tipik marinitlerdir. Bu tür çökeltiler genellikle yüz binlerce kilometrekarelik bir alanı kaplar, ancak nispeten incedir, genellikle 100 m'den az kalınlıktadır.

### 3. FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Bitümlü şeyllerin özgül ağırlığı 1,75- 2,25 gr/cm<sup>3</sup> arasındadır. Ana oksit elementlerinin hemen hepsini yüksek miktarlarda içerir. Oldukça zengin iz element kimyasına sahiptir (B, Ba, Cr, Cu, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V ve Zn).

Bitümlü şeylin kuru ağırlık bazında brüt ısıtma değeri, kilogram kayaç başına yaklaşık 500 ila 4000 kcal arasında değişmektedir.

Kerojen moleküllerinin çözünmezliğinin nedeni, geniş moleküler boyutlara sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Aynı kimyasal formüle sahip olmasına rağmen, yapısal olarak küçük boyutlu olan ve organik çözücülerde çözünen kerojenden farklı organik madde türü ise bitümen olarak adlandırılır.

Kayacın içerisindeki petrol miktarının belirlenmesinde birçok yöntem geliştirilmiş olmasına rağmen, en yaygın olarak kullanılan Fischer tahlil yöntemidir.

#### 3.1. Fischer Tahlil Yöntemi

İlk önce Almanya'da geliştirilen bu tahlil yöntemi, daha sonra US Bureau of Mines tarafından bir standarda bağlanmıştır. Bu analizde 100 gram bitümlü şeyl örneği önce 2,38 mm'ye kadar öğütülür, daha sonra alüminyum imbik içerisinde 12°C/dk olacak şekilde 500°C'ye kadar 40 dakika süreyle ısıtılır. Damıtılan petrol, gaz ve su yoğunlaştırıcıdan geçirilir, dereceli santrifüj tüp içerisinde soğuk su tarafından soğutulularak ayrılırlar. Fischer tahlil yöntemi bitümlü şeyilde bulunan toplam enerjiyi ya da verilen şeyl miktarı için üretilebilecek azami petrol miktarını kesin olarak vermez.

üretimi sırasında salınacak sera gazının geleneksel hidrokarbonlardan petrol üretimine eşit olacağını göstermektedir.

*“Bitümlü şeylden enerji üretmek verimli değildir.”* Potansiyel bir enerji kaynağının verimliliğini ölçmek için; harcanan enerjiye karşılık kazanılan enerji oranına bakmak gerekmektedir (EROEI, Energy Returned On Energy Invested). Verimlilik oranı bire eşit veya daha düşük olduğunda, bu enerji kaynağı bir “enerji havuzu” haline gelir ve birincil enerji kaynağı olarak kullanılamaz. Aşamalı olarak düşük oranlı kaynaklar, yüksek oranlı kaynaklar tükendiklerinde kullanılır. Petrol üretiminin ilk günlerinde, ortalama olarak yaklaşık 100 varil petrol bulmak, çıkarmak ve işlemek için bir varil petrol (1:100) gerekiyordu. Bu oran zaman içinde giderek azalma eğilimi göstermiş ve ABD'de sadece üç varil petrole (1:3) kadar düşmüştür. Bu oran üzerinden alternatif bir enerjiye bakıldığında; Avrupa ve Kuzey Amerika'daki rüzgar enerjisinin verimlilik oranının yaklaşık olarak 1:20 olduğu görülmektedir (2006'da). Çeşitli bitümlü şeyl yatakları üzerine 1984'de yapılan bir çalışmada, oranın 0,7 ile 13,3 arasında değişmekte olduğu görülmüştür. Zaman içerisinde teknolojiye gelişmeler ile verimlilik oranının artabileceği tahmin edilmektedir.

*“Bitümlü şeyl madenciliği büyük miktarda arazi kullanımına yol açmakta ve atık yönetimi açısından riskler bulunmaktadır.”* Avrupa'da yapılan bir çalışmaya göre; bir varil şeyl petrolü üretimi sırasında yaklaşık %25 daha büyük hacme sahip 1,5 ton kullanılmış şeyl üretilebileceği hesaplanmıştır. Atık yönetimi endüstri tarafından ciddiye alınmakta ve atık şeyllerin ticari kullanımlarını belirlemek için büyük çaba sarf edilmektedir. Bu da sadece finansal getirileri arttırmakla kalmamakta, aynı zamanda atık bertaraf sorununu gidermeye yardımcı olmaktadır. Atık şeyl, asfalt yol kaplama malzemesi üretimi, yapı taşları ve çimento üretimi gibi çeşitli kullanım alanlarına sahiptir ve yeni uygulamalar araştırılmaktadır.

Günümüzün dünya pazarında şeyller, petrol, doğal gaz veya kömür ile rekabet edememesine rağmen, başka fosil yakıt kaynakları bulunmayan ülkelerde kullanılmaktadır.

Bitümlü şeylden sentetik petrol elde edilmesi için yapılan harcamalar düşme eğilimindedir. Madencilik ve işleme teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, fiyatların önümüzdeki yıllarda düşüş eğiliminde olacağı tahmin edilmektedir.

## 9. HAMMADDENİN ZAYIF YANLARI

Bitümlü şeyller hakkında özellikle çevre sorunlarına yönelik olarak pek çok eleştiri yapılmaktadır. Bütün insan faaliyetlerinin (altyapı, şehirleşme, sanayileşme, turizm vb.) çevre üzerinde etkisi bulunmaktadır. Bitümlü şeylin çıkarılması sonuçta madencilik faaliyeti olup, işlenmesi de bazı çevre sorunlarına yol açan niteliklere sahiptir. Araştırılıp karar verilmesi gereken husus ise: “Kazanılan fayda için kabul edilebilir bir etki düzeyi nedir ve hangi iyileştirme adımlarının yapılması gerekir?”.

Eleştiriler, şeyller üzerine çalışma yapılması konusunda çekinceler oluşturmaktadır. Bu eleştirilere kısaca başlıklar halinde bakmakta fayda bulunmaktadır:

“Madencilik çevreye zarar vermektedir.” bitümlü şeyl projesi yapılması durumunda ilgili mevzuat dahilinde arazinin flora ve fauna üzerindeki etkisi, su tedariki, yüzey ve yer altı suyunun kirlenmesi, asit madeni drenajı, erozyon, sera gazı, SO<sub>2</sub> ve diğer gazların salınması gibi konuları içeren çevresel etki değerlendirmesi yapılmaktadır. Sonuçta madencilik denetim altında yapılabilen bir faaliyettir.

“Bitümlü şeyl madenciliğinde çok fazla su israf edilmektedir.” Kullanılan teknoloji ve yatakların özelliklerine bağlı olarak değişmekle birlikte; ABD’de yapılan çalışmada madencilik faaliyetleri ve şeyl petrolü üretimi sırasında 5-30 litre su tüketimi olabileceği açıklanmıştır. Başka madencilik yöntemlerin (örneğin yerinde madencilik) ve süreçlerin (farklı ısıl işlem yöntemleri gibi) uygulanmasıyla bu rakamların daha azaltılabileceği bilinmektedir. Ayrıca su kirliliğinin yer altı su kaynaklarına etkisi dikkatle izlenmesi gereken başka bir husustur.

“Bitümlü şeylden petrol çıkarılması, geleneksel yöntemlerden daha yüksek karbon emisyonu üretmektedir.” Ürdün'deki bitümlü şeyl projesinde Almanların yapmış olduğu bir çalışmada CO<sub>2</sub> salınımından kaynaklanan muhtemel karbon ayak izinin, müsaade edilen sınırlar içinde kaldığı belirtilmiştir.

“Bitümlü şeyl madenciliğinde atmosfere tehlikeli gazlar salınmaktadır.” Kullanılan teknolojiye ve bitümlü şeylin bileşimine bağlı olarak, kükürt dioksit, hidrojen sülfid ve azot oksit emisyonlarının salınımı gerçekleşebilir. Ek olarak, ısıl işlem ve özütleme işlemi, bazıları toksik olan sülfatlar, ağır metaller ve kirletici hidrokarbonlar gibi maddeleri içerebilen önemli miktarlarda atık malzeme üretir. Bitümlü şeylin yerinde dönüşümle işlenmesi bu etkilerin bir kısmını azaltabilir. Estonya’da yapılan çalışmalar, ileri teknolojilerle bitümlü şeylden petrol

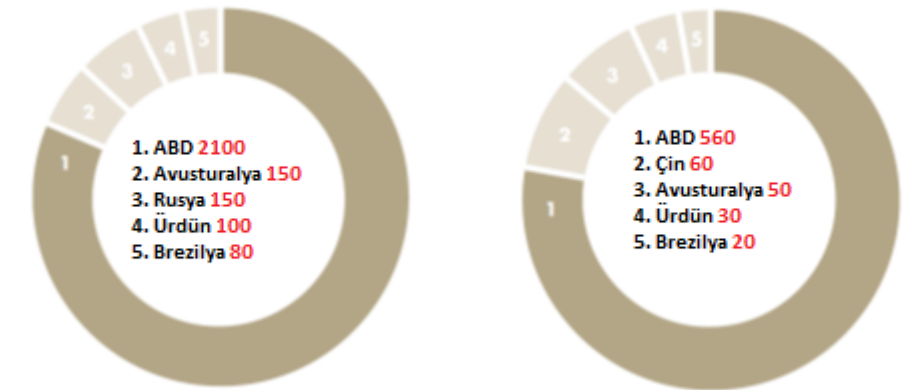
## 4. BİTÜMLÜ ŞEYL YATAKLARI VE YAPILAN TEKNOLOJİK ÇALIŞMALAR

### 4.1. Dünyadaki Önemli Yataklar

Dünyanın pek çok bölgesinde bitümlü şeyl yatakları bulunmaktadır (Şekil 2). Bu çalışmada; bitümlü şeyl ile ilgili olarak uluslararası yayınlarda genellikle irdelenen bitümlü şeyl yatakları ülkeler bazında ele alınmıştır. Bunlar: Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya, Brezilya, Çin, Estonya, Fas, İsrail, İsveç, Kanada, Rusya, Suriye, Tayland ve Ürdün’de bulunan yataklardır. Dünyada bilinen bitümlü şeyl rezervinin 411 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. Bazı kaynaklarda bu miktarın, 300-550 milyar ton arasında olduğu belirtilmektedir. Dünyada tahmini ve ispatlanmış rezerv olarak ilk beş ülkenin kaynakları aşağıda verilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Dünyada bitümlü şeyl bulunan bölgeler (Ellis’ten alınmıştır).



Şekil 3. Tahmini ve ispatlanmış şeyl petrolü kaynakları (Milyar varil) (Ellis’ten alınmıştır).

#### 4.1.1. Amerika Birleşik Devletleri

ABD'de prekambriyenden tersiyer çağına kadar çok sayıda bitümlü şeyl yatakları bulunmaktadır. Ekonomik olarak nitelenebilecek kaynakların yaklaşık %80'ini içeren en önemli iki yatak, Colorado, Wyoming ve Utah'taki eosen yaşlı Green River formasyonu (Dünya rezervinin yaklaşık 2/3 üne karşılık gelen 270 milyar ton rezerve sahip) ile doğu ABD'deki devoniyen-mississippien karasal şeylleridir. Başka yerlerde de oluşumların olduğu bilinmektedir, ancak bunlar çok küçük, düşük nitelikli veya henüz yeterince araştırılmamış yataklardır.

Oluşumu açısından ülkemizdeki Beypazarı sahası ile büyük benzerlik gösteren Green River formasyonundaki bitümlü şeyller, 1900'lerin başından beri önemli bir yatak olarak bilinmektedir. 1967'de bitümlü şeyl yataklarının fizibilitesini araştırmak için kapsamlı bir program başlatılmıştır. 1973-74'teki petrol ambargosundan kaynaklanan petrol fiyatlarındaki büyük artışlar, 1970'lerde ve 1980'lerin başlarında bitümlü şeyl faaliyetlerinin yeniden canlanmasına neden olmuştur. 1978'den itibaren bu bölgede bitümlü şeyller deneme amaçlı olarak çıkarılmaya ve işlenmeye başlanmıştır. Green River formasyonundan şeyl petrolü üreten son büyük proje 1980 yılında faaliyete geçmiştir. Çalışmaların son aylarında ki üretim, günde yaklaşık 875 ton şeyl petrolü civarında olup, toplam 657 bin ton şeyl petrolü üretilmiş ve tesis 1991 yılında kapatılmıştır.

Colorado'daki Green River formasyonun bitümlü şeyl rezervlerinden bir trilyon varil (147 milyar ton) şeyl petrolü üretilebileceği 1989'da yapılan bir çalışmada hesaplanmıştır. Utah ve Wyoming'deki Green River formasyonu kaynakları, Colorado'daki yatak kadar iyi bilinmemektedir. 1980'lerde yapılan hesaplamalarda, Utah'taki yatakların 214 milyar varil (31 milyar ton), Wyoming'teki kaynakların ise 244 milyar varil (35 milyar ton) şeyl petrolü kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

Fosil enerjisine ek olarak, Colorado'daki Green River bitümlü şeyl birikintileri, nakolit ve davsonit dâhil olmak üzere değerli sodyum karbonat mineral kaynakları içermektedir. Ayrıca davsonit alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) içeriğiyle potansiyel bir değere sahiptir. Bu iki mineralin bir bitümlü şeyl işleme faaliyetinin yan ürünü olarak geri kazanılması da muhtemeldir. 2004 yılından itibaren bu yataklar trona yatağı olarak işletilmektedir. Wyoming'deki Green River havzasında bitümlü şeylin yanı sıra en büyük doğal sodyum karbonat (trona) kaynağı olarak da bilinmektedir. Wyoming'teki trona üretimi, ABD soda külü ihtiyacının yaklaşık yüzde 90'ını

Katranlı kumlarla birlikte bitümlü şeylleri içeren faslın son on beş yıllık verilere bakıldığında; 2013, 2016 ve 2017 yıllarında ticaret yapılmadığı görülmektedir. İhracat oranı çok az olup sadece dört yılda (2011, 2009-2007) gerçekleşmiştir. İthalat da, ticaretin yapılmadığı yıllar haricinde yapılmıştır. Her iki veri de genel maden dış ticaret verilerimiz içinde çok düşük bir paya sahiptir.

Dünyadaki durum: 2014-2018 yıllarında sırasıyla ithalatta 76, 77, 65,78 ve 79; ihracatta 30, 26, 46, 25 ve 35 milyon dolar civarında gerçekleşmiştir. Bu değerler de dünya maden ticaretinde kayda değer bir yer tutmamaktadır.

## 8. HAMMADENİN TİCARETİ

Bitümlü şeylleri kapsayan Gümrük Tarife İstatistik Pozisyon (GTİP) numaraları Tablo 3’de verilmiştir. Bu fasılla ilgili Resmi Gazetenin 15 Şubat 2015 tarihli ve 29980 (Mükerrer) sayılı nüshasındaki izahat incelendiğinde; “2714.10.00.00 Bitümenli veya yağlı şist ve katranlı kumlar” GTİP numaralı maddelerin kapsamına giren veriler, bu çalışmanın konusunu içermektedir. Aynı başlığın katranlı kumları da kapsamı sebebiyle; bu fasılda yapılan ticaretin de büyük oranda katranlı kumlar üzerine yapıldığı, bitümlü şeyllerin hammadde olarak küçük çapta deneme amaçlı olarak gerçekleştiği ve dünya ticaretine henüz dâhil olmadığı düşünülmektedir.

Tablo 3. Bitümlü maddeleri içeren Gümrük Tarife İstatistik Pozisyon numara (GTİP) grubu.

27.14	Tabii bitümen ve tabii asfalt; bitümenli veya yağlı şist ve katranlı kumlar; asfaltitler ve asfaltlı kayalar :
2714.10.00.00.00	- Bitümenli veya yağlı şist ve katranlı kumlar
2714.90	- Diğerleri
2714.90.00.00.11	- - Tabii bitümen
2714.90.00.00.12	- - Tabii asfalt
2714.90.00.00.13	- - Asfaltlı kayalar
2714.90.00.00.14	- - Asfaltitler
2714.90.00.00.19	- - Diğerleri

Yukarıda belirtilen faslı içeren, Türkiye İstatistik Kurumunun web sayfasından dijital olarak temin edilen 2004-2018 yılları arasındaki ihracat ve ithalat verileri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Ülkemizin İlgili Faslı İçeren İhracat Ve İthalat Verileri.

Yıllar	İhracat			İthalat		
	Miktar (Ton)	Değer (\$)	Yapılan Ülkeler	Miktar (Ton)	Değer (\$)	Yapılan Ülkeler
2018				2	6.332	Singapur
2017						
2016						
2015				21	84.907	Singapur
2014				0,14	571	Singapur
2013						
2012				41	10.754	Arnavutluk
2011	0,9	507	Gürcistan, Azerbaycan	28	15.205	Avusturya, Suriye
2010				28	19.187	Avusturya
2009	5	3.605	Azerbaycan	6	5.047	Avusturya
2008	41	25.444	Azerbaycan, Irak	6	6.704	Avusturya
2007	6	3.794	Almanya, Danimarka, Azerbaycan, Çin	11	12.477	İtalya, Avusturya
2006				4	3.119	Almanya, Avusturya
2005				115	63.751	Fransa, Birleşik Krallık, Avusturya
2004				6	4.591	Avusturya, Mısır

karşılmaktadır. Piceance Creek havzasında, Green River bitümlü şeyli potansiyel bir doğal gaz kaynağı içermesine karşın, ekonomik olarak işletilmesi mümkün bulunmamıştır.

ABD’deki diğer yataklar, doğu devoniyen-mississippian bitümlü şeyl (siyah şeyller) yatakları olup, geç devoniyen ve erken mississippian çağındaki tortullardır. Bu şeyller, uzun yıllar boyunca doğal gaz kaynağı olarak kullanılmıştır. Ancak düşük dereceli şeyl petrolü ve uranyum kaynağı olarak da değerlendirilmektedir. Devoniyen-mississippian bitümlü şeyllerinin organik madde bakımından yeterince zengin olduğu ve yüzeye yakın bulunduğundan açık ocak ile çalıştırılabileceği düşünülmektedir. Devoniyen-mississippian devri bitümlü şeyl kaynaklarının, 423 milyar varil (61 milyar ton) şeyl petrolü içerdiği tahmin edilmektedir.

İleriye dönük olarak; 1,5 trilyon varil petrol eşdeğeri olduğu tahmin edilen Green River formasyonundaki şeyl petrolünü kazanmak için yerinde (in-situ) dönüşüm süreciyle ilgili denemeler yapılmaktadır.

### 4.1.2. Avustralya

Avustralya’nın bitümlü şeyl yatakları küçük ve ekonomik olmayanlardan, ekonomik yönden yeterince büyük olanlara kadar değişiklik göstermekte ve ülkenin üçte birinde yer almaktadır (Queensland, Yeni Güney Galler, Güney Avustralya, Victoria ve Tazmanya). Bunların toplamı 58 milyar ton olup, 3,1 milyar ton petrol (24 milyar varil) kazanılabileceği tahmin edilmektedir. En iyi potansiyele sahip olan yataklar Queensland’de bulunanlardır. Yeni Güney Galler ve Tazmanya’daki yataklardan, 1800’lerin ortasından 1900’lerin başlarına kadar şeyl petrolü çıkarılmıştır. 1973-74’teki petrol krizi ile ilgili ham petrol fiyatının artması sonucunda, Avustralya’da bitümlü şeyl araştırmaları büyük ölçüde hızlanmış, 1986 yılına gelindiğinde ham petrol fiyatlarının çarpıcı bir şekilde düşmesi ile bitümlü şeylin kullanımına olan ilgi azalmıştır.

Avustralya’daki yatakların çok büyük rezervlere sahip olmakla birlikte, düşük kaliteli olduğu belirtilmektedir. Toolebuc formasyonu 245 milyar m<sup>3</sup> (1,7 trilyon varil) kapasiteye sahip olup, düşük kalitesiyle bu duruma misal olarak gösterilebilir. Bitümlü şeyllerde ayrıca potansiyel olarak uranyum ve vanadyum kaynakları bulunmaktadır.

Queensland’de bitümlü şeylin işlenmesi için en uygun olan Paraho dikey shaft fırın teknolojisi, 2005-07’de Rifle’deki bir pilot tesiste detaylı testler yapıldıktan sonra seçilmiştir. Queensland yataklarından toplam 8 bin ton şeyl petrolü Avustralya’da elde edilmiş ve Colorado’ya testler için gönderilmiştir.

#### 4.1.3. Brezilya

Brezilya'nın farklı bölgelerinde, devoniyenden tersiyer çağına kadar değişen en az dokuz bitümlü şeyl yatağının bulunduğu bildirilmektedir. Bunlardan ikisi günümüzde önemli addedilmektedir: Sao Paulo şehrinin kuzeydoğusundaki Paraiba Vadisindeki tersiyer çağının gölsel bitümlü rezervleri ile ülkenin güneyinde yaygın olarak bulunan permiyen Irati formasyonudur. Paraiba Vadisi'nde toplam 840 milyon varil yerinde şeyl petrolü rezervi bulunmaktadır. Toplam kaynak 2 milyar varil olarak tahmin edilmektedir. Permiyen Irati formasyonunun bitümlü şeylleri erişilebilirliği, kalitesi ve yaygın dağılımı nedeniyle ekonomik olarak geliştirilme potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir. Bu formasyonun toplam alanı bilinmemektedir, çünkü yatağın batı kısmı lav akıntıları ile kaplı bulunmaktadır. Burada 600 milyon varilden fazla (yaklaşık 86 milyon ton) şeyl petrolü belirlenmiştir.

Brezilya bitümlü gaz endüstrisinin gelişimi, 1954'te Brezilya ulusal petrol şirketi Petrobras'ın kurulmasıyla başlamıştır. Bu kurumun alt birimlerinden biri olan SIX, ülkenin bitümlü şeyl yataklarının geliştirilmesiyle görevlendirilmiştir. İlk dönem çalışmalarda Paraiba bitümlü şeyline yoğunlaşmış, ancak daha sonra Irati şeyline odaklanılmıştır.

São Mateus do Sul yakınlarında prototip bir tesis 1972 yılında günde 1.600 ton bitümlü şeyl işleme tasarım kapasitesiyle faaliyete geçirilmiştir. Petrosix'in bu tesisinin kurulmasından 1998 yılına kadar, 1,5 milyon tondan (10,4 milyon varil) fazla şeyl petrolü ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), metan ve kükürt gibi diğer yan ürünler elde edilmiştir.

#### 4.1.4. Çin

Çin'de bilinen başlıca bitümlü şeyller, araştırma kurumu Çin Petrol Üniversitesine göre, 47 havzaya dağılmış 80 rezervde bulunmaktadır. Toplam bitümlü şeyl kaynağı 720 milyar ton olarak tahmin edilmekte olup 48 milyar ton şeyl petrolüne eşdeğerdir. İspatlanmış rezervlerin yaklaşık 36 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. Çin'in başlıca bitümlü şeyl kaynaklarından ikisi: Çin'in kuzeyindeki Fushun ve Maoming'de bulunmaktadır.

Fushun'daki toplam bitümlü şeylin 3,6 milyar ton ve bu yatak civarındaki petrol gazı kaynaklarının 260 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Fushun'da ilk bitümlü şeyl üretimi

1926'da başlamış ve 1970'lerin başında yılda yaklaşık 60 milyon tona ulaşmasının ardından 1978'de yaklaşık 8 milyon tona kadar düşmüştür. Bu düşüşün nedeninin Çin'de keşfedilen ucuz ham petrol üretiminden kaynaklandığı belirtilmektedir.

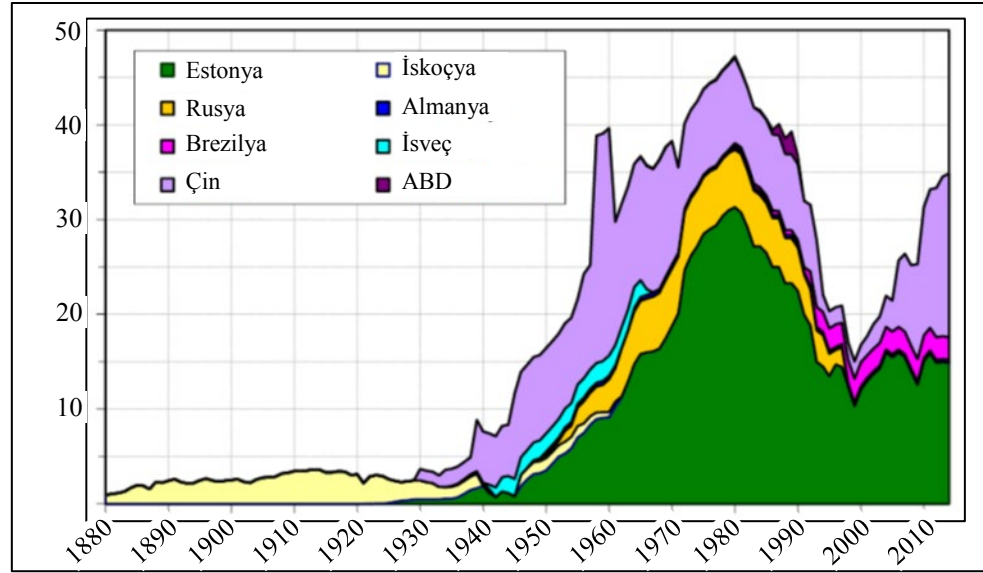
şehirlerde kullanılmıştır. Bununla birlikte, günümüzde, mevcut doğal gaz fiyatı seviyesine göre ekonomik olarak mümkün görünmemektedir.

Almanya, İsrail ve Rusya'da deneme amaçlı değişik ölçeklerde üretim tesisleri faaliyette olup Avustralya, Ürdün ve Fas gibi ülkelerde ise çok sayıda bitümlü şeyl projesi planlama aşamasındadır. Ayrıca, Amerika Birleşik Devletlerinde Colorado ve Utah'da ticari ölçekte araştırma ve uygulama projeleri bulunmaktadır.

Özet olarak bitümlü şeylerin kullanım alanları şunlardır:

- Bitümlü şeylerden çeşitli yöntemlerle sentetik petrol ve gaz elde edilebilmektedir.
- Termik santrallerde katı yakıt olarak kullanılmaktadır. İçeriğine göre kömür ile karıştırılarak yakılabildiği gibi gelişen yakma teknolojileriyle doğrudan kullanılması da mümkündür.
- İşlenmiş şeyl artıklarından çimento hammaddesi olarak yararlanılabilmektedir.
- İçeriğinde bulunan kıymetli bileşenler (vanadyum, uranyum vb.) elde edilebilmektedir.
- Tarımda gübre ve asidik toprakların nötralizasyonunda başarılı sonuçlar vermektedir.
- Absorban karbon veya aktif karbon üretimde yararlanmak mümkündür.





Şekil 4. Bitümlü şeylin yıllar itibariyle üretimi (milyon ton) (Burnham'dan alınmıştır).

Günümüzde Brezilya, Çin ve Estonya'da ticari ölçekte şeyl petrolü üretimi yapılmaktadır. Estonya, bitümlü şeyl rezervlerinden en çok yararlanan ülke konumunda olup bitümlü şeyl çalışmaları 1916 yılında başlamış ve yıllık üretim 1980'de 41 milyon tona ulaşmıştır. Kukersit adıyla literatürde yer alan bitümlü şeyllerden Estonya'da elektrik, gaz, sıvılaştırılmış hidrokarbon ve diğer kimyasal ürünlerin elde edilmesinde yararlanılmaktadır. Günümüzde bitümlü şeyl, Estonya'nın en önemli enerji kaynağıdır. Ülkede kullanılan elektriğin %90'ından fazlası bitümlü şeyl ile çalışan iki termik santralden elde edilmekte olup, 1 ton bitümlü şeylden 850 kWh elektrik enerjisi ve 125 kg şeyl petrolü üretimi gerçekleştirilmektedir. Sentetik petrol (şeyl petrolü) üretimi 4400 varil/gün olan Estonya'da atıklar çimento üretiminde de kullanılmaktadır.

Bitümlü şeyl, Estonya, Almanya ve Çin'de (Fushun) çimento fabrikalarında çimento üretiminde, aynı zamanda farklı kimyasal ürünlerin, inşaat malzemelerinin ve eczacılık (farmasötik) ürünlerinin (örneğin karayağ olarak bilinen amonyum bitüminosülfonat) elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Bazı bitümlü şeyllerden şeyl petrolü elde edilmesi esnasında yan ürün olarak kükürt, amonyak, alümina, soda külü ve nakolit elde edilebilmektedir. Ayrıca şeyller uranyum ve diğer nadir kimyasal element üretimi için de kullanılabilir. 1946-1952 yılları arasında Estonya'da uranyum üretimi için denizel bir çeşit dictyonema şeyli ve 1950-1989 döneminde İsveç'te aynı amaç için alum şeyl kullanılmıştır. Bitümlü şeyl gazı ayrıca doğal gaz yerine kullanılabilir. II. Dünya Savaşından sonra, Estonya'da üretilen bitümlü şeyl gazı Leningrad'da ve Kuzey Estonya'daki

Fushun'daki tesis 7 milyon t/y bitümlü şeyl işlemek üzere tasarlanmış ve 2006 yılında 240 bin ton şeyl petrolü üretilmiştir. Buna ek olarak, işlenemeyen parçacık halindeki bitümlü şeylin işlenmesi için 230 t/s kapasiteli Alberta Taciuk İşlemci (ATP) tesisi kurulması planlanmıştır. 2012'de yapımı biten tesisten 2013'de ilk petrol elde edilmiştir. 2016 Haziran itibariyle bu tesiste işlenen 2,2 milyon ton malzemeden 648 bin varil petrol kazanılmıştır. Ayrıca, 400 bin ton/yıl şeyl petrol üretebilecek başka bir tesis daha kurulması düşünülmektedir. Bütün projelerin tamamlanmasından sonra, yıllık şeyl petrolü üretiminin 700 bin ton civarında olması beklenmektedir. Üretim maliyetlerinin 18-19 dolar/varil olacağı tahmin edilmektedir.

Tersiyer yaştaki Maoming bitümlü şeyl rezervi, 5 milyar ton olup yıllık yaklaşık 3,5 milyon ton üretilmektedir. 1963'te Maoming'de şeyl petrolü üretmeye başlayan bir tesis kurulmuştur. İşlenme zorluğu bulunmasına rağmen akışkan yataklı kazanlarda yakılabileceği belirtilmektedir. Bitümlü şeyl külünün yüzde 15-25'i çimento sanayinde kullanılmaktadır.

2006 yılında Çin'in en büyük petrol şirketi PetroChina'da, özellikle bitümlü şeyllerin geliştirilmesinden sorumlu yeni bir bölüm kurulmuştur ve Ağustos 2008'de, Mudanjiang'da yılda 1,2 milyon ton/yıl kapasiteli bitümlü şeyl işleme tesisinin inşaatına başlamış ve 100 bin ton/yıl şeyl petrolü üretmek üzere tasarlanmıştır.

Guangdong Eyaletinde 1990'lara kadar yıllık üretimi maksimum 180 bin ton/yıl şeyl petrolüne ulaşan bir tesis de bulunmaktadır. Ayrıca Suiyuan'da, 2008 yılında Maoming bitümlü şeylinin yakılması için bir akışkan yataklı kazan inşa edilmiştir. Guangdong eyaleti, Maoming'de, büyük bir elektrik santrali kurmayı planlamaktadır.

Shandong Eyaletinde, kömür madenciliğinin yanı sıra yan ürün olarak şeyl petrolü üretmeye yönelik, 200 bin ton/yıllık bitümlü şeyl işleme tesisi planlanmıştır. Kullanılabilir 100 milyon ton rezerve ek olarak, enerji üretmek için bitümlü şeyle karıştırılan şeylli kömürün akışkan yatak yakma prosesinde işlenmesi ve şeyl külünün inşaat malzemeleri üretmek için kullanılması düşünülmektedir.

Jilin Eyaletinde enerji üretimi için bitümlü şeylin kullanıldığı 12 MW kapasiteli akışkan yatak ünitesine sahip olan tesis, 2006 yılında faaliyete başlamıştır. 2005 yılında Huadian'da 200 bin ton/yıl şeyl petrol üretebilecek kapasiteye sahip bir tesis inşası önerilmiştir. Petrosix teknolojisi kullanılarak kurulan tesiste, her biri 50 MW kapasiteli iki akışkan yataklı yakma ünitesiyle enerji, 1,2 milyon ton/yıl çimento ve inşaat malzemeleri üretmek için atık şeyl ve şeyl külü kullanılmaktadır.

Heilongjiang Eyaletinde (Harbin) günlük 50 ton şeyl petrol kapasitesine sahip akışkan yataklı imbik ile pilot tesisleri tamamlanmıştır.

Gansu Eyaletinde kömür ve bitümlü şeylin birlikte üretilmesi ve burada 400 bin ton/yıl şeyl petrolü üretme kapasitesine sahip tesis düşünülmektedir.

Diğer bitümlü şeyl projeleri; Uromqi (Sincan), Yongden (Gansu) ve Chanpo'da (Hainan) bölgelerinde değerlendirilmektedir.

#### 4.1.5. Estonya

Ordovisyen çağının deniz tipi bir şeyli olan kukersit yatakları, kuzey Estonya'da 50.000 km<sup>2</sup>'den daha büyük bir alanı kapsamaktadır. Yataklar, doğuya doğru Rusya'ya (St. Petersburg) uzanmaktadır. Estonya uzun zamandır bitümlü şeyl madenciliği ve işlenmesinde dünya lideri konumundadır. Kukersit olarak adlandırılan yataklar 1700'lerden bu yana bilinmektedir. Bununla birlikte, aktif çalışma I. Dünya Savaşı'nın yol açtığı yakıt kıtlığı sonucunda 1918'de başlamıştır. O yıllardaki üretim, yıllık 17 bin ton olmuştur. 1940 yılında yıllık üretim 1,7 milyon tona ulaşmıştır. Bununla birlikte, II. Dünya Savaşı'ndan sonra, Sovyet döneminde, üretim çarpıcı bir şekilde yükselmiş, 1980'de zirve yaparak 31,4 milyon tonla doruğa çıktığında on bir açık ocak ve yer altı madeninde çalışılmıştır. Yıllık bitümlü şeyl üretimi 1994-95 yıllarında yaklaşık 14 milyon tona gerilemiş, daha sonra tekrar artmaya başlamış ve 1997 yılında 22 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2005 yılında, Estonya'da 14,8 milyon ton bitümlü şeyl çıkarılmış ve 345 bin ton şeyl petrolü üretilmiştir. Bu miktarın yüzde 81'i elektrik santrallerini çalıştırmak için, yüzde 16'sı petrokimya tesislerinde ve geri kalanı diğer küçük ürünlerin yanı sıra çimento üretimi için kullanılmıştır. Günümüzde dünya bitümlü şeyl üretiminin %70'i Estonya'da gerçekleştirilmektedir.

Estonya'da elektrik enerjisinin %90'ından fazlasını üreten, bitümlü şeylin yakıt olarak kullanıldığı dünyanın en büyük iki termik santrali işletilmektedir. Bu endüstride yaklaşık 7500 civarında kişi istihdam edilmekte olup ulusal istihdamın yaklaşık %1'ini ve GSYİH'nın %4'ünü oluşturmaktadır.

Bununla birlikte, gelecekte Estonya'da sıvı yakıtlara çok fazla ihtiyaç duyulacağı tahminine istinaden bitümlü şeyllerin çoğunun sıvı yakıt ve gaza dönüştürülmesi planlanmaktadır.

## 7. ÜRETİM VE KULLANIM ALANLARI

Bitümlü şeyl yanıcı özelliğinden dolayı binlerce yıldır yakıt olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra; Mezopotamya'da M.Ö. 3000 yılında yol yapımında ve inşaat işlerinde dekoratif amaçlı yapı taşı olarak kullanılmıştır.

X. yüzyılda Arap fizikçi Masawaih al-Mardini tarafından bitümlü şeylden sentetik ham petrol üretimi için bazı yöntemler tanımlanmıştır.

İsveç'te 350 yıldan fazla bir süredir bilinen bitümlü şeyl madenciliği 1637'de başlamıştır. Yakıt olarak kullanılmasının yanı sıra deri tabaklama endüstrisinde, tekstilde renkleri sabitlemek için ve eczacılıkta kullanılmıştır.

Endüstriyel ölçekte bitümlü şeylden ilk şeyl petrolü üretimi, 1830'larda bitümlü şeylin ısı ile imbikten geçirilmesi sonucu kimyasal dekompozisyon (piroliz) ile gerçekleştirilmiştir. Dünyada bitümlü şeyl etütlerinin başlangıcı, Amerika'da ticari anlamda petrolün keşfedildiği 1859 yılından önceki yıllara dayanır. 1800'lü yıllarda maksimum düzeye ulaşan bitümlü şeyl çalışmaları, 1859 yılında ticari anlamda ham petrolün bulunmasıyla gerilemiştir. Avustralya'da da 1800'lerin ortasından 1900'lerin başlarına kadar şeyl petrolü çıkarılmıştır.

Daha sonra I. Dünya Savaşı yıllarında tekrar hız kazanan çalışmalar keşfedilen petrol sahaları ile duraksamış; II. Dünya Savaşı yıllarında şeyl petrolü bir kez daha dikkatleri üzerinde toplamış, ancak savaş sonrası petrol fiyatında istikrar döneminin başlamasıyla çalışmalar durmuştur. II. Dünya Savaşı yıllarında ülkemiz Mengen (Bolu) bitümlü şeyl sahasında Alman uzmanlar tarafından sentetik petrol elde edilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi ile bitümlü şeyller yeniden gündeme gelmiş ve aynı yıllarda bilimsel ve teknolojik araştırmalar yoğunluk kazanmıştır. İlerleyen yıllarda gelişen yakma teknolojileriyle bitümlü şeyllerin termik santrallerde linyit ile birlikte değerlendirilmesi gündeme gelmiştir. Bu açıklamalardan da anlaşılacağı gibi enerji krizleri ile gündeme gelen bitümlü şeyl ve şeyl petrolü çalışmaları, petrol fiyatlarının en yüksek olduğu dönemler ile en düşük olduğu dönemler arasında dalgalı bir eğri çizmektedir. Geçmişten bugünlere kadar dünya üretimi grafik olarak Şekil 4'de verilmiştir.

ve gaza dönüştürülür. İşlem iki ila dört yıl sürebilir. Ürünler daha sonra geleneksel teknikler kullanılarak yüzeye pompalanır. Ürün genel olarak üçte biri gaz ve üçte ikisi hafif petrol içerir. ICP yönteminin alan büyüklüğü tipik olarak yaklaşık 2,6 km<sup>2</sup>'dir ve hektar başına 35-50 sondaj açılması gerekir. Bu süreç, şu anda ticari ölçekte kullanılamamaktadır. Bununla birlikte, yöntemin teknik uygulanabilirliği için iki ana teknik sorunun çözümü gerekmektedir: üretim sırasında yer altı suyunun kontrol edilmesi ve yer altı suyu etkileri de dâhil olmak üzere yeraltı çevre sorunlarının önlenmesi.

Jeotermik Yakıt Hücreleri (GFC) Prosesi, bitümlü şeyl oluşumuna yerleştirilen yüksek sıcaklıktaki bir yakıt hücresi yığını içerir. İlk olarak, hücreler harici bir doğal gaz kaynağı tarafından beslenir. Daha sonra süreç, kendi atık ısısı tarafından üretilen petrol gazı kullanarak kendisini besler. Formasyon, ısıtılan bölgede artan sıvı basıncı ile çatlatılır. Alternatif olarak oluşum, ısıtma ve kuyu üretimi arasındaki şeyl petrolü akışını artırmak için önceden de çatlatılabilir.

Chevron Corp'un Crush sürecinde; kuyuları delmek için geleneksel sondaj yöntemleri kullanılır ve hedef bölge içinde CO<sub>2</sub> bakımından zengin gazların kuyudan kuyuya dolaştırıldığı bir dizi kontrollü yatay çatlatma uygulanır. Bunlar daha sonra yeniden ısıtma için bir gaz jeneratörüne geri gönderilir. Şeyl petrolü, yüzeye geleneksel sondaj kuyularından alınır.

Petro Probe, aşırı ısıtılmış havanın, bitümlü şeyl oluşumuna açılan kuyulardan enjekte edilmesini içeren bir işlem önermiştir. Üretilen hidrokarbonlar yüzeye gaz halinde taşınır ve yoğunlaşmış şeyl petrolünün ayrılmasından sonra, kalan bitümlü şeyl gazı atık ürünlerle birlikte formasyona geri enjekte edilen havayı ısıtmak için kullanılır. Bu işlem, sürecin çevresel etkisini en aza indirir.

Exxon Mobil'in Electrofrac teknolojisinde: bitümlü şeyl oluşumuna, kalsine edilmiş petrol koku gibi elektriksel olarak iletken bir malzeme enjekte edilerek bir dizi hidrolik çatlatma kullanılır. Şeyl petrolü daha sonra ayrı ayrı üretim kuyularıyla elde edilir. Hala test aşamasında olan bu teknoloji, dikey eksen boyunca hidrolik olarak kırılmış yatay oyuklar içerir. Kuyular, kuyu dibi ile kesişen ikinci bir yatay kuyuyla paralel olarak yerleştirilir. Bu kuyu yerleşimi, karşıt elektrik yüklerinin her iki ucunda da uygulanmasını sağlar.

Bunlardan başka; radyo frekansı ve mikrodalga ısıtma teknolojileri kullanılarak 1970'li yılların sonlarında başka denemeler de yapılmıştır.

Sovyetler döneminde, gizlice uranyum çıkarıldığı için erken ordovisyen yaşlı dictyonema<sup>11</sup> şeyli hakkında çok az bilgi yayınlanmıştır. Buradan toplam 22,5 ton elementer uranyum üretilmiştir.

Estonya'daki en kaliteli kukersitin yaklaşık 320 ila 500 litre/tona eşdeğer şeyl petrolü verimi göstermekte ve kalorifik değerler 2440 ila 3020 kcal/kg arasında değişmektedir.

Estonya kukersit kaynakları ayrıntılı bir şekilde araştırılmıştır. Kukersit rezervinin 6,3 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca Tapa yatağı hazırlık aşamasındadır. Tapa yatağının rezervi bu tahminlere dâhil değildir.

Estonya'da bitümlü şeyl madenciliğinin geleceği, doğal gaz, petrol ve kömürle rekabet dâhil olmak üzere bir dizi sorunla karşı karşıya bulunmaktadır. Kukersit yataklarındaki mevcut açık ocakların, daha derine doğru inmesi nedeniyle, sonunda daha pahalı yer altı operasyonlarına dönüştürülmesi gerekecektir. Madencilik alanları ve bunlara bağlı olarak kullanılmış şeyl yığınlarının geri kazanılması ve madencilik alanların petrol-şeyl endüstrisi tarafından çevresel bozulmasını iyileştirme çalışmaları devam etmektedir. Estonya kukersit yatağının jeolojisi, madenciliği ve ıslahı ayrıntılı olarak incelenmeye devam edilmektedir.

Estonya'da bitümlü şeylinin yan ürünü olarak kimyasallar üretilmektedir. Bitümlü şeyl kimyasalları iki kategoriye ayrılır: bitümlü şey kimyasalları (fenol fraksiyonları) ve hassas kimyasallar: İlki; kauçuk, kontrplak endüstrisinde, petrol endüstrisinde epoksi reçineleri, döküm kalıpları, aşınma direnci yüksek lastikler ve otomobil parçaları yapımı gibi geniş uygulamalarda kullanılmaktadır. Hassas kimyasallar, kozmetik, parfümeri ve elektronik endüstrisi tarafından kullanılan yüksek saflıkta ürünleri içerir. Ayrıca LCD monitörler için sıvı kristaller yapmak için de kullanılırlar. Bu sektör Avrupa Birliğinin sıkı denetimi altında bulunmaktadır.

#### 4.1.6. Fas

Fas'ta on bölgede üst kretase yaşlı bitümlü şeyl tortusu tespit edilmiştir. En kapsamlı araştırılan iki yatak Timahdit ve Tarfaya yataklarıdır. Rabat'ın yaklaşık 250 km güneydoğusunda bulunan Timahdit yatağında toplam bitümlü şeyl rezervinin 18 milyar ton olduğu tahmin edilmekte; bunun sentetik petrol olarak potansiyeli ise 3,42 milyar varil olarak verilmektedir. Diğer yatak Tarfaya, Fas'ın en güneybatı kesiminde yer almaktadır. Toplam şeyl kaynağının 86 milyar ton

<sup>11</sup> Çürüyen organik maddelerden oluşan çamurlu ortam kökenli marinit tipi siyah renkli şeyl

olduğu tahmin edilmektedir. 1980'lerde, Fas bitümlü şeyllerinde araştırma sondajı ve deneysel madencilik ile işlem yapılmıştır, ancak şeyl petrolü üretilmemiştir.

#### 4.1.7. İsrail

İsrail'de, yaklaşık 12 milyar ton bitümlü şeyl rezervi içeren ve ortalama 1150 kcal/kg kayaçlık bir ortalama ısıl kapasiteli 20 marinit yatağı tespit edilmiştir. Rotem-Yamin yatağından elde edilen bitümlü şeylden yararlanarak, 25 MW'lık deneme amaçlı bir elektrik santrali çalıştırılmıştır. Akışkan yataklı bir kazanda saatte yaklaşık 55 ton şeyl petrolü yakılmıştır. Tesis 1989 yılında faaliyete geçmiştir ancak daha sonra kapatılmıştır.

#### 4.1.8. İsveç

Siyah, organikçe zengin bir marinit birimi olan İsveç alum şeylinin kambriyenden alt ordovisiyen yaşlı bitümlü şeyli, potasyum alüminyum sülfat kaynağıdır. Fosil enerji kaynağı olarak 1800'lerin sonuna doğru hidrokarbonları çıkarmak ve rafine etmek için girişimlerde bulunulmuştur. II. Dünya Savaşı'ndan önce ve sırasında şeyl petrolü üretilmiş, ancak daha ucuz ham petrol tedarikine bağlı olarak üretim 1966'da sona ermiştir. Bu dönemde, yaklaşık 50 milyon ton şeyl madenciliği yapılmıştır.

Şeyller uranyum, vanadyum, nikel ve molibden içeren yüksek metal içeriğiyle dikkat çekmektedir. II. Dünya Savaşı sırasında az miktarda vanadyum üretilmiştir. 1950 ve 1961 arasında inşa edilen bir pilot tesiste 62 tondan fazla, 1965-1969 yılları arasında yılda yaklaşık 50 ton uranyum üretilmiştir. Dünyadaki uranyum fiyatının düşmesine bağlı olarak tesis 1989'da kapanmıştır.

Şeyller ayrıca İsveç inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan hafif gözenekli bir yapı üretmek için kireç taşıyla işleme tutulmuştur. Blokların radyoaktif olduğu ve kabul edilemez derecede büyük miktarda radon yaydığı anlaşıldığında üretim durdurulmuştur. Bununla birlikte, gelecekte fosil ve nükleer enerji, kükürt, gübre, metal alaşımlı elementler ve alüminyum ürünleri için önemli bir potansiyel kaynak olacağı düşünülmektedir.

#### 4.1.9. Kanada

Kanada'nın bitümlü şeyl oluşumları ordovisiyenden kretase yaşına kadar uzanır ve deniz kökenli olup, 19 kadar yatak tespit edilmiştir. New Brunswick Albert formasyonundaki bitümlü şeyllerin petrol verimi 25-150 litre/ton arasında değişmektedir. Fischer tahliline göre tahmini 94 litre/ton şeyl petrolü verimi olan Albert maden bölgesi için şeyl petrolü rezervinin 67 milyon

tekrar imbiğin ortasına geri gönderilir ve bir kısım gaz da imbiğin altından geri beslenir. Bu geri besleme esnasında sıcak şeyl kokunu soğutur ve kendisi, ısıtılmış bir bitümlü şeyl kaynağını beslemek için ilave bir ısı kaynağı olarak piroliz bölümüne gönderilir. Sürecin bir dezavantajı, şeyl kokunda bulunan sabit karbonun potansiyel ısısının kullanılmamasıdır. 1992'den itibaren üretimde kullanılan Petrosix süreci dünyanın en büyük bitümlü şeyl piroliz yöntemidir. Dikey şaft fırını 11 m yükseklikte ve 5,5 m iç çap ebadındadır.

#### 6.8. TOSCO II Prosesi

TOSCO II işlemi, 1960'larda ve 1970'lerde geliştirilen ve ince bitümlü şeyl parçacıkları kullanan (13 mm altı) teknolojidir. Bunlar yaklaşık 260°C'ye ısıtılır ve piroliz tamburunda (yatay bir döner fırın) 15 mm çapında sıcak seramik bilyelerle karıştırılır. Böylece bitümlü şeyl sıcaklığı 480-590°C'ye kadar yükseltilir. Kerojen, bitümlü şeyl gazı ve petrol buharlarına parçalanırken piroliz meydana gelir. Buharlar çeşitli fraksiyonlara ayrılması için bir yoğunlaştırıcıya aktarılır. Kullanılan şeyl ve seramik bilyeler, delikli dönen bir ayırma tamburunda (trommel) ayrılır. Seramik bilyeleri yeniden ısıtmak için şeyl gazı yakılır. Sürecin ısıl verimi düşük olduğundan, harcanan enerjinin geri kazanılmasında sıkıntılar bulunmaktadır. Üretilen şeyl gazı, işlemin kendisi tarafından tüketilir. Bilyelerin ısıtılmasında yakıt olarak şeyl gazı yerine şeyldeki karbonlu artığın yakılmasıyla verimlilik artırılabilir. Diğer dezavantajlar arasında mekanik karmaşıklık, çok sayıda hareketli parça ve seramik bilyelerin sınırlı kullanım ömrü bulunmaktadır. Ayrıca, kullanılan şeylin atılması, ince parçacık boyutu ve içerdiği karbon kalıntısı nedeniyle çevresel problemler ortaya çıkarmaktadır.

#### 6.9. Yerinde (In Situ) Dönüşüm Yöntemleri

Bitümlü şeylin yerinde dönüşümünde şeylin çıkarılması için geleneksel bir madencilğe ihtiyaç duyulmaz. Bunun yerine, sıcak sıvıların oluşum içerisine enjekte edilmesiyle ya da ısıtma ünitelerinin yerleştirilmesiyle yeraltında formasyon ısıtılır. Yöntemlerin çoğu hala deney aşamasındadır. Ancak mevcut işlemlerle ekonomik olarak elde edilemeyecek derin tortular ile geleneksel madencilik yöntemleri tarafından işletilmesine değmeyecek kadar düşük bir kaliteye sahip olan birikintilerden petrol kazanma potansiyeli olduğu düşünülmektedir.

Shell Firması, bir dizi yeraltı elektrikli ısıtma elemanının bir bitümlü şeyl yatağına delindiği yenilikçi Shell In situ Conversion Process (ICP) adlı yöntemi geliştirmiştir. Hedef derinlik bölgesi 300-650 m'dir. Bu yöntemde; şeyl, yavaş yavaş 350-370°C'ye ısıtılır ve kerojen, petrol

bir tahliye sistemi vasıtasıyla terk etmektedir. Kiviter sürecinde işlem sırasında çok miktarda su kullanılır. Ayrıca katı atık kalıntısı ve çevreye sızan suda çözünür toksik maddeler içerir.

### **6.5. Lurgi-Ruhrgas Prosesi**

Bu süreç, ilk olarak Almanya'da 1940'larda, linyitin düşük sıcaklıkta sıvılaştırılması için geliştirilen bir teknolojinin türevidir. Bu yöntem; ince parçacıkları (6-13 mm) işleyen ve kullanılmış şeyli (şeyl külünü) kumla ya da bir ısı taşıyıcı olarak diğer dayanıklı malzemelerle karıştırılmış olarak kullanılan bir süreçtir. Teknoloji, üretilen şeyl petrolü buharlarının şeyl külü ile karışması ve şeyl petrolünde kirliliklere neden olma dezavantajına sahiptir.

### **6.6. Paraho Prosesi**

ABD'de 1960'larda geliştirilen Paraho Süreci, kısmen gaz yakılan bir imbik temeline dayanır. Paraho işlemi iki farklı yanma modunda çalıştırılabilir: doğrudan ve dolaylı. Doğrudan işlem, Kiviter ve Fushun yöntemlerindeki benzer dikey şaftlı bir imbikte gazın yakılması ve imbiğin tepesinde dönen bir dağıtıcı aracılığıyla beslenen kırılmış ham bitümlü şeyli içerir. Dolaylı teknoloji, harici olarak üretilen bir sıcak gaz yöntemidir. Burada imbik, doğrudan işlemde kullanılabilecek benzer bir yapıdadır. Ancak proses gazı ayrı bir fırında yanar ve ısıtılmış gazların sirkülasyonu ile ısı, imbiğe taşınır. İmbikte yanma gerçekleşmez. Paraho sürecinin temel avantajları arasında: Mekanik sadelik, yüksek petrol verimi, enerji verimliliği, güvenlik özellikleri ve çevreye duyarlılık hususları bulunmaktadır. Paraho termal kazanım işleminin, mevcut emisyon kontrol teknolojileri ile kolayca yönetilebilen bir süreç oluşturduğuna inanılmaktadır.

### **6.7. Petrosix Prosesi**

Brezilyalı enerji şirketi Petrobras, 1953 yılında Petrosix teknolojisini geliştirdi. Bu yöntemde bitümlü şeyl pirolizi için harici olarak üretilen sıcak gaz kullanılır. Kırılmış şeyl (12-75 mm arası) bantlı konveyör ile yaklaşık 500°C sıcaklıktaki dikey bir şaft fırınına taşınır. Bitümlü şeyl üstten beslenir ve aşağı doğru ilerledikçe yeniden ısıtılarak geri dönüştürülmüş gazlarla ısıtılır. Kerojen, petrol ve gaz olarak ayrışır. Kullanılan şeyl tabandan boşaltılır, petrol buharı ve gazlar üstten alınır. Petrol buharları yoğunlaştırılır ve hafif petrolü elde etmek için şeyl gazları temizlenir. Geri kalan, daha sonra yakıt ve sıvılaştırılmış petrol gazının (LPG) üretildiği ve kükürdün geri kazanıldığı gaz işleme ünitesine gönderilir. Soğutulmuş imbik gazının bir kısmı boru şeklindeki bir ısıtıcıda yakıt olarak kullanılır; bir kısım gaz ısıtıcının borularında ısıtılır ve

varil olduğu; tüm bitümlü şeyl dizileri için ise şeyl petrolü kaynağının 270 milyon varil olabileceği tahmin edilmektedir.

### **4.1.10. Rusya**

Rusya'da 80'den fazla bitümlü şeyl çökeltisi tespit edilmiştir. En önemli yataklardan olan Leningrad bölgesindeki kukersit yatağı, yakınlardaki elektrik santralinde yakıt olarak kullanılmıştır. Başka yerlerdeki bitümlü şeyller iki elektrik santralinde daha yakıt olarak kullanılmış; ancak, yüksek kükürt emisyonları nedeniyle vazgeçilmiştir. 1995 yılında, bir bitümlü şeyl tesisinde yılda 50 bin ton bitümlü şeyl işlenmiştir.

Eski Sovyetler Birliği verilerine göre; Estonya ve Leningrad kukersit yataklarıyla beraber diğer 13 yatağın 107 milyar tondan daha fazla bitümlü şeyl rezervi ihtiva ettiği belirtilmektedir.

### **4.1.11. Suriye**

Suriye'nin güneyinde, Ürdün'ün kuzeyinde başlayan Yarmouk yatağının bir parçası olan Wadi Yarmouk havzası'nda bitümlü şeyller tanımlanmıştır. Tabakalar, Akdeniz bölgesinde yaygın olan karbonat ve silisli karbonat yataklarından oluşan geç kretase-paleojen yaşlı deniz kireçtaşlarıdır. Fosil kalıntıları kayanın yüzde 10 ila 15'ini oluşturur. Fischer tahliline göre petrol verimleri yüzde 7 ila 12'dir.

### **4.1.12. Tayland**

Tayland'ın tersiyer yaşlı bitümlü şeylleri bazı yönlerden Colorado'daki Green River yatağına benzer özellikler gösterir. Myanmar sınırına yakın kuzeybatı Tayland'daki Mae Sot havzası tahmini 18,7 milyar ton bitümlü şeyl içermektedir ve bunun 6,4 milyar varil (916 milyon ton) şeyl petrolü eşdeğeri olacağı tahmin edilmektedir. Bir diğer yatak olan Li'deki rezervin ise 15 milyar ton bitümlü şeyl ihtiva ettiği tahmin edilmektedir.

### **4.1.13. Ürdün**

Ürdün bilinen 26 yatak ile dünyanın dördüncü büyük bitümlü şeyl kaynağına sahiptir. Bunlardan bazıları oldukça büyük ve göreceli olarak yüksek kalitelidir. En önemlisi olan sekiz yatak Ürdün'ün merkezinde, Ölü Deniz'in 20 ila 75 km doğusunda yer almaktadır. El Lajjun, Sultani ve Juref ed Darawish, sondaj yapılarak kapsamlı bir şekilde araştırılmış ve birçok örnek analiz edilmiştir. Ürdün bitümlü şeyl yatakları, geç kretase yaşlı ve tersiyer yaşlı marinitlerdir. Genel olarak, bitümlü şeyller, kuzeyden Ürdün'ün kuzey sınırındaki Yarmouk yatağına doğru

kalınlaşır ve ikincisi Suriye'ye doğru uzanır. Ürdün bitümlü şeylleri göreceli olarak yüksek metal içeriğine sahiptir.

Ürdün topraklarının %60'ından fazlasını kaplayan bitümlü şeyl kaynağı 40 milyar ton olup, yerinde üretilebilir rezerv 4 milyar tondur. Sentetik petrol elde edilmesine ve elektrik enerjisi üretimine yönelik santralin fizibilite çalışmaları sürdürülmektedir.

Ürdün, 2020'ye kadar enerji tedarikindeki kendi kaynaklarını %39'a yükseltmeyi hedeflemektedir. Bundan dolayı Estonya ile yapılan anlaşmayla Galoter işleme teknolojisini kullanarak, 36 bin varil/gün üretim kapasitesine sahip bir şeyl petrol tesisi kurulması için fizibilite çalışması yapılmaktadır.

Devam eden başka fizibilite çalışmaları da bulunmaktadır. Fakat proseslerin su ihtiyacı problem oluşturmaktadır. Altyapı hususlarını, su yönetimi ile çevreyi kapsayan çalışmalar neticesinde, tesisin ATP teknolojisi kullanılarak uygulanabilir olacağı sonucuna varılmıştır.

#### **4.2. Ülkemizdeki Yataklar**

Ülkemizde Amasya Çeltek, Ankara Beydili ve Beypazarı, Balıkesir Burhaniye, Bolu Hatıldağ, Himmetoğlu ve Mengen, Çorum Dodurga, Kocaeli Bahçecik, Kütahya Seyitömer, Niğde Ulukışla sahalarında etütler yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda ülkemizde 1,6 milyar ton bitümlü şeyl rezervi olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca Boyalı (Kastamonu), Demirci (Manisa), Ilıslık (Çankırı), Aspiras (Kastamonu) sahalarında da prospeksiyon çalışmaları yapılmıştır.

##### **4.2.1. Amasya-Çeltek**

Çeltek bitümlü kayaçları eosen yaşlı Armutlu formasyonu içerisinde yer almaktadır. Bitümlü kayaçların kalınlıkları 5-75 m arasında değişmekte olup ekonomik olarak değerlendirilebilecek herhangi bir kalınlık gözlenememiştir. Analizler sonucunda saha genelinde ortalama kalori 435 kcal/kg olup, Çeltek Yöresinde 774 kcal/kg olarak hesaplanmıştır. Sahadaki verilere göre 7-10 m arasında değişen kalınlıklarda 541 kcal/kg ve daha yukarı ısı güce sahip yaklaşık 90 milyon ton muhtemel bitümlü şeyl rezervi tahmin edilmektedir.

##### **4.2.2. Ankara-Beydili**

Bitümlü şeyller paleosen-eosen yaşlı Çamalan formasyonu içerisinde gözlenmektedir. Formasyon gri renkli kumtaşı, marn, kireçtaşı, bitümlü şeyl araldanmasından oluşur. Sahada

şeyl, pirolizin gerçekleştiği noktada yaklaşık 500°C'ye kadar ısıtılır. Kayacın ayrışmasıyla şeyl koku (kömür), petrol buharı ve gazları üretilir. Buharlar ve gazlar, imbiğin üstünden dışarı çıkarken; kok piroliz için gerekli gazları ısıtmak üzere imbiğin alt kısmında yanar. Bu gazlar yeniden çevrime dâhil edilir. İmbikler, setler halinde çalıştırılır. Fırınlara, yanma gazlarını 1000°C'ye kadar ısıtır. Fushun Süreci nispeten ucuz ve ısı verim yüksektir. Bununla birlikte, imbiğe içine havanın eklenmesi nedeniyle, havadaki azot piroliz gazını seyreltir. Ayrıca, imbiğeki fazla oksijen, üretilen şeyl petrolünün bir kısmını yakar. Bu nedenle şeyl petrol verimi azalır. Fischer Tahliline göre yaklaşık %65 olarak gerçekleşir. Proses ayrıca, üretilen şeyl petrolü varili başına 6-7 varil gibi yüksek miktarda su ihtiyacı vardır. Büyük miktarlarda atık şeyl üretilir. Küçük parçacıklı ve petrol içeriği %5'ten az olan cevherler için uygun değildir. Fushun işlemi küçük ölçekli tesisler için elverişlidir.

#### **6.3. Galoter Prosesi**

Galoter Süreci, Estonya'da geliştirilmiştir. Bu işlemde, kırılmış bitümlü şeyl (25 mm altı), bant konveyör tarafından bir kurutucuya boşaltılır. Kurutulan bitümlü şeyl, atık bitümlü şeylin ayrı bir fırında yakılmasıyla üretilen sıcak külle (800°C) karıştırılır. Galoter imbiğinde ayrışma sıcaklığı 520°C'dir. Siklondan çıkan sıcak baca gazı atık ısı kazanına yönlendirilir ve daha sonra bitümlü şeyl beslemesinin kurutulmasında kullanılır. Petrol buharı çekilir ve yoğuşturulur. Yoğuşmayan kısım orta enerjili şeyl gazı olarak kabul edilir. Galoter işleminin ısı verimi yüksektir ve teknolojik verim %73-78' aralığında olmaktadır. Petrol geri kazanım oranı yüksek olup, Fischer tahliline göre %85-90'a ulaşmaktadır. Bu işlem daha az su kullandığı için daha az kirliliğe sebep olmaktadır. Ancak yine de karbon dioksit, karbon disülfür ve kalsiyum sülfür gibi gazlar üretilmektedir.

#### **6.4. Kiviter Prosesi**

Kiviter Sürecinde 1920'lerden bu yana Estonya'da dikey imbiğ teknolojisi kullanılmaktadır. Dikey Kiviter imbiği, geri dönüştürülmüş gazlar, buhar ve hava ile iri taneli bitümlü şeyli ısıtır. Isı sağlamak için gazlar ve kalıntı şeyl imbiğe yakılır. Ham bitümlü şeyl, imbiğin üst kısmından beslenir ve yükselen gazlar tarafından ısıtılır. Piroliz, imbiğin alt kısmında, yaklaşık 900°C'ye kadar ısıtılan yerde tamamlanır. Şeyl petrolü buharları ve ortaya çıkan gazlar, bir yoğuşma sistemine iletilir. Yoğuşmayan gazlar imbiğelere geri beslenir. Geri dönüştürülmüş gaz, imbiğin tabanından girmekte ve kullanılmış şeylleri soğutmakta olup, daha sonra imbiği su sızdırmaz

## 6. TEKNOLOJİK İŞLEMLER

Bitümlü şeyle yeterli ısı uygulandığında kerojen; petrol, gaz ve kalıntı karbona dönüşür. Kerojenin kimyasal dekompozisyonu (piroliz) 300°C civarında başlar ancak en etkili ısı aralığı 480°-520°C'dır. Piroliz işlemi, bitümlü şeyllerin inert ortamda ısıl parçalanmaya uğratılarak sıvı ve gaz ürünlere dönüştürülme işlemi olarak tanımlanabilir. Değişik literatürlerde bu işleme "retortlama" (damıtma), işlemin gerçekleştirildiği reaktöre de "retort" (imbik) denilmektedir. Damıtma işlemi yer altında (in-situ) ve yer üstünde (ex-situ) yapılabilmektedir.

Piroliz işlemlerine alternatif olabilecek bir diğer yöntem de ekstraksiyondur. Bitümlü şeyllerin organik yapısının değişik çözücü ortamda bozunmaya uğratılması esasına dayanan bu yöntemde, şartlara bağlı olarak değişik özellikte ve verimde şeyl petrolü (sentetik ham petrol) üretilebilmektedir. Bitümlü şeyl yapısındaki organik maddenin çözünürlüğünü artırmak için kayaç bünyesindeki inorganik bileşenleri uzaklaştırmak gerekmektedir. Konvansiyonel yöntem olan inorganik asit kullanımı organik bileşenlere zarar verdiği için bu yöntemde petrol verimi düşmektedir. Bu nedenle asit kullanımı yerine, ekstraksiyon işleminin imbik içinde yüksek sıcaklık ve basınçlarda gerçekleştirilmesine çalışılmış ve oldukça yüksek sentetik ham petrol (SCO) verimine ulaşılmıştır. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

### 6.1. Alberta Taciuk Prosesi (ATP)

Alberta Taciuk Süreci (ATP) 1970'lerde Kanadalı Mühendis William Taciuk tarafından geliştirilmiştir. ATP, bir petrol arıtma ünitesini içeren döner fırın teknolojisine dayanmaktadır. ATP'nin ayırt edici özelliği; bitümlü şeylin (veya diğer besleme malzemesinin) kurutulması ve pirolizi ve kullanılmış şeylin yanması, geri dönüşümü ve soğutulması gibi işlemlerin hepsinin dönen çok odalı tek bir yatay imbikte gerçekleştiriliyor olmasıdır. Aynı zamanda besleme kaynağı olarak ince parçacıklar kullanılır. Bu teknolojinin avantajı, basit ve sağlam tasarımı, enerji açısından kendi kendine yeterliliği, süreçte az düzeyde su ihtiyacı, ince parçacıkları kullanma imkânı ve yüksek petrol verimidir. Ayrıca, düşük petrol verimi olan bitümlü şeyllerin işlenmesi için de uygundur.

### 6.2. Fushun Prosesi

Fushun Sürecinde, iç tarafı ateş tuğlası dışı çelik kaplamalı dikey döner fırın kullanılır. Her bir imbik yüksekliği 10 m'yi aşar ve iç çapı yaklaşık 3 m'dir. Ham bitümlü şeyl (10-75 mm parçacık ebatlı), imbiğin tepesinden sıcak gazlarla kurutulmuş beslenir. Aşağıya doğru akan bitümlü

800 kcal/kg ve daha fazla ısı gücüne sahip 300 milyon ton muhtemel+mümkün bitümlü şeyl rezervi hesaplanmıştır. Ancak büyük bir bölümü örtülü olan rezervin işletme sorunu söz konusudur ve yapılan hesaplamalardaki veriler de yeterli değildir.

### 4.2.3. Ankara-Beypazarı

Bitümlü şeyller Hırka formasyonu içinde yer alırlar. Kalınlığı 70-160 m. arasında değişen bu formasyonun 10 m'lik kahve rengi silt taşlarının üzerine doğru yoğun bir bitümlü şeyl laminasyonu bulunmaktadır. Üretilebilir bitümlü şeyl kalınlığı kapalı işletme sahası için ortalama 3,66 m, açık işletme sahası için 6,83 m'dir. Beypazarı, Yeni Çayırhan rezerv sahasında yapılmış olan çalışmalarla 850 kcal/kg ısı değeri üzerinde toplam 196 milyon ton civarında üretilebilir bitümlü şeyl rezervi tespit edilmiştir. Bununla birlikte linyit damarının işletilmesi halinde bitümlerin işletilememesi durumu gibi bir sorun bulunmaktadır. Bilgin (1981) tarafından hazırlanan raporda da belirtilen bu sorunun günümüze kadar yayılarak arttığı tahmin edilmektedir. Kömür işletmesinin yapılmadığı alanlardaki bitümlü şeyllerin alınabileceği düşünülmektedir.

### 4.2.4. Balıkesir-Burhaniye

Alandaki bitümlü şeyller, kalınlığı yaklaşık 200-250 m civarında olduğu sanılan karbonat oranı yüksek killi kireçtaşları içerisinde yer almaktadır. Bitümlü şeyl damarlarının ortalama kalınlığı 4 m'dir. Yüzey çalışmasına göre 15,6 milyon ton rezerv hesaplanmıştır. Alt ısı değerinin ise 206-1768 kcal/kg arasında değiştiği ölçülmüştür. Detaylı araştırılması gerektiği belirtilmektedir.

### 4.2.5. Bolu-Hatıldağ

Hatıldağ bitümlü şeylleri paleosen-eosen yaşlı gölsel fasiyeste çökelmiştir. Bitümlü kayaçlar, genellikle kahverengimsi gri-kahverengi ve bej renkli, karbonatlı veya dolomitik marn ve bitümlü marn karakterinde olup, 26-120 m arasında değişen kalınlıklardadır. Organik madde açısından zayıf kaliteli olarak gözlenen bitümlü kayaçların ekonomik petrolü şeyl zonu 15-46 m arasında değişen kalınlıklarda (ortalama 30,5 m) ve 774 kcal/kg ortalama kalori değerine sahip bulunmaktadır. Zonun petrol içeriği %5,3 (55 litre/ton) ve kükürt değerleri %1,34 olarak saptanmıştır. Bu bölge verileri değerlendirildiğinde; toplam 547 milyon ton rezerv hesaplanmış olup, ekonomik petrolü şeyl zonunun rezervi açık işletme baz alınarak 250 milyon ton olarak bulunmuştur. Bu rezerv içerisinde 125 milyon tonluk kesim 1000 kcal/kg, 44 milyon tonluk kesim ise 1200 kcal/kg ısı güce sahiptir. Hatıldağ bitümlü şeyllerinin elde edilen veriler

ışığında akışkan yatakta yakma sistemi ile yanabilir olabileceği düşünülmektedir. Günümüz ekonomik şartlarında Hatıldağ bitümlü kayaçlarının yakın bir gelecekte kullanımı mümkün görülmemektedir.

#### 4.2.5. Bolu-Himmetoğlu

Himmetoğlu formasyonundaki orta miyosen yaşlı linyitin üzerinde kalınlığı 10-25 cm arasında değişen sileksit bantları ile farklı kalınlıklarda kıltaşı, marn seviyeleri bulunur. Bunların üzerinde ise kalınlığı 1-9 m arasında değişen bitümlü şeyl zonu yer almaktadır. Bitümlü şeyl horizonu homojen olmayıp yer yer kıltaşı, silttaşı, marn, killi kireçtaşı ile ara katkılıdır. Bitümlü şeyllerin üzerinde bulunan birimler ise genellikle ince taneli kumtaşı, silttaşı, kıltaşı, killi kireçtaşı ve marn şeklindedir. Bu birimler yer yer farklı kalınlıklarda bitüm ara bantları içermektedir. Havzadaki bitümlü şeyller organik ve özellikle hayvansal kökenli artıkların bir göl dibinde gömülmesiyle oluşmuştur. Bitümlü şeyller içindeki kerojen sabit dağılım halinde olup hem siltli, killi ve hem de karbonatlı çökeller içinde bulunabilmektedir. Buradaki bitümlerin renkleri gri, açık kahverengi ile koyu kahverengi arasında değişim göstermektedir.

Değerlendirmeler sonucu bitümlü şeyllerin kalınlığının 1-19 m arasında, ısıl değerinin ise ortalama 1390 kcal/kg olduğu belirlenmiştir. Göynük-Himmetoğlu Sahası'nda ortalama 1576 kcal/kg ısıl güce sahip görünür 23 milyon ton civarında bitümlü şeyl rezervi belirlenmiştir. Açık işletme ile çalışılması düşünüldüğünde görünür rezerv 11 milyon ton olarak değerlendirilmektedir. Bu rezervler 800 kcal/kg ısıl değer üzerindeki bitüm kalınlıklarına göre hesaplanmıştır. Ancak sahada 800 kcal/kg ısıl değer altında yaklaşık 40 milyon ton bitümlü şeyl olduğu tahmin edilmektedir.

Sahadaki bitümlü şeyllerin kerojen miktarı yer yer yüksek olmakla birlikte, bunlardan sentetik petrol elde edilmesi günümüz şartlarında ekonomik görülmemektedir.

Saha açık işletmeye elverişli olup, halen linyit üretimi yapılmaktadır. Linyitin hemen üzerinde bulunan bitümlü şeyller dekapaj malzemesiyle birlikte atılmaktadır.

#### 4.2.6. Bolu-Mengen

Mengen bitümlü şeyl sahası, ülkemizde şeyl petrolü elde edilmesi için çalışılan ilk saha olması nedeniyle önemlidir. Bitümlü şeyller gri-kahverengi olup, mostrada yapraklanma göstermektedir.

çeşitli sahalarda yapılan etütler sonucunda ülkemizde 1,6 milyar ton (görünür+muhtemel) bitümlü şeyl rezervi belirlenmiştir. Türkiye'deki bitümlü şeyl yatakları çoğunlukla Batı ve Orta Anadolu'da yer almakta olup, özellikle Himmetoğlu, Seyitömer, Hatıldağ ve Beypazarı yatakları öne çıkmaktadır. Ülkemizdeki bitümlü şeyllerin kalorifik değeri 1000 kcal/kg civarında veya bunun biraz daha altındadır. Kül oranları ise yüksektir. Üretim yöntemi olarak, toplam rezervin küçük bir bölümü açık işletmeye, geri kalanının ise derinlerde olduğu için yeraltı işletmeciliğine uygun olduğu düşünülmektedir.

Tablo 2. Ülkemiz bitümlü kayaçlarının rezervleri ve ortalama ısıl değerleri.

Saha	Rezerv (1000 ton)	Ortalama Isıl Değer (kcal/kg)
Çayırhan (Beypazarı, Ankara)	327.648	966
Seyitömer (Kütahya)	122.170	860
Hatıldağ (Göynük, Bolu)	359.959	774
Himmetoğlu (Göynük, Bolu)	65.968	1390
Ulukışla (Niğde)*	130.000	851
Mengen (Bolu)*	50.000	1000
Bahçecik (İzmit)*	42.000	1060
Burhaniye (Balıkesir)*	15.600	732
Beydili (Nallıhan, Ankara)*	300.000	800
Dodurga (Çorum)*	138.000	365
Çeltek (Amasya)*	90.000	541
TOPLAM	1.641.345	

Not: Şengüler'den alınmıştır. (\*Muhtemel Rezerv)



## 5. REZERVLER

### 5.1. Dünya Rezervleri

Bitümlü şeyller, dünyanın çeşitli bölgelerinde yaygın olarak bulunmaktadır. Ancak bitümlü şeyl yatakları ile ilgili bilgiler genellikle arama sondajları ve analitik çalışmalar ile ortaya konulduğundan gerçek rezerv ve kalite konusunda farklı yaklaşımlar sergilenmektedir. Literatürde yer alan kaynaklara göre dünyadaki bitümlü şeyl rezervleri 300-550 milyar ton arasında değişmektedir. USGS'in tahminleri dünyada şeyl petrolü veya başka bir tanımla sentetik ham petrol (synthetic crude oil / sco) rezervlerinin 3 trilyon varil olduğu yönündedir. Bu da dünya ham petrol rezervlerinin iki katından fazladır. Dünyadaki bitümlü şeylin petrol eşdeğer rezervleri ABD'de 626 milyar varil, Brezilya'da 300 milyar varil, Rusya'da 41 milyar varil, Avustralya'da 17 milyar varil, Kanada'da 16 milyar varil olarak hesaplanmıştır. ABD'de hesaplanan 6 trilyon varil şeyl petrolünün 600-800 milyar varilinin ekonomik olarak elde edilebileceği öngörülmektedir.

Tablo 1. Bitümlü Şeyl: kaynak, rezerv ve 1999 yılı üretimi.

Ülkeler	Yerinde ispatlanmış miktar <sup>12</sup> (Milyon ton Şeyl)	Kazanılabilir ispatlanmış rezerv <sup>13</sup> (Milyon ton petrol)	Ortalama petrol verimi <sup>14</sup> (Kg petrol/ton)	Tahmini ek rezerv <sup>15</sup> (Milyon ton petrol)	Üretim 1999 (Bin ton petrol)
ABD	3.340.000	60.000-80.000	57	62.000	
Avustralya	32.400	1.725	53	35.260	5
Brezilya			70	9.646	195
Estonya	1.500		167		151
Fas	12.300	500	50-64	5.400	
İsrail	15.360	600	62		
Tayland	18.668	810	50		
Ürdün	40.000	4.000	100	20.000	

Not: (<https://www.resilience.org/stories/2005-04-23/survey-energy-resources-oil-shale/>) adresinden alınmıştır.

### 5.2. Ülkemiz Rezervleri

Ülkemizde bitümlü şeyl etütleri MTA'nın kurulmasıyla başlamış ve ilk yıllardaki çalışmalar bütün dünyada olduğu gibi sentetik petrol elde edilmesi amacıyla sürdürülmüştür. Bu amaçla

<sup>12</sup> Yerinde ispatlanmış miktar, mevcut teknoloji ile mevcut ve beklenen yerel ekonomik şartlar altında ölçülen ve faydalanılabilir olarak değerlendirilen bitümlü şeylin tonajıdır.

<sup>13</sup> İspatlanmış kazanılabilir rezervler, mevcut teknolojiyle mevcut ve beklenen yerel ekonomik koşullar altında ölçülen ve değerlendirilebilen olarak belirtilen sentetik ham petrol tonajıdır.

<sup>14</sup> Ortalama petrol verimi Fischer testine veya eşdeğer analitik tekniğe dayanmaktadır.

<sup>15</sup> Tahmini ek rezervler, kazanılabilir sentetik ham petrolün tonajı olarak ifade edilen miktardır (kazanılabilir ispatlanmış rezervlere ek olarak). Spekülatif miktarlar dâhil değildir.

Bitümlü şeyl zonu lütesiyen yaşlı olup kalınlığı 75 m, ısıl değeri 2842 kcal/kg'a kadar çıkmaktadır. Bitümlü şeyllerin ortalama ısıl değeri 1000 kcal/kg'ın üzerindedir. Yüzey verilerinden yararlanarak 50 milyon ton muhtemel rezerv hesaplanmıştır.

Sahada rezervin az olması, linyitlerden bağımsız bir işletme gerekmesi ve yakınında bir termik santralin bulunmaması nedeniyle bugün için ekonomik görülmemektedir. Analiz sonuçları, sahadaki bitümlü şeyllerin sentetik petrol elde edilmesine uygun olduğunu göstermektedir.

### 4.2.7. Çorum-Dodurga

Bitümler, yer yer de marn kilaşı ile bulunmakla birlikte şeyl içinde yer almaktadır. Gerek şeyl ile gerekse marnlar ile bulunduğu kahverengi-gri arasında renk değişiklikleri göstermektedir. Bitümlü şeyl içeren Miyosen yaşlı seriden alınan numunelerle, ısıl değerinin 70-870 kcal/kg arasında, ortalama 357 kcal/kg olduğu belirlenmiştir. Daha önceki yıllarda yapılmış sondajlardan ve ölçülen kesitlerden elde edilen verilere göre sahada 138 milyon ton muhtemel bitümlü şeyl rezervi belirlenmiştir.

Havzadaki bitümlü şeyli ihtiva eden tabakaların kalınlığı az ve ısıl değerleri çok düşük olduğundan günümüz şartlarında işletilmesi mümkün değildir.

Sahadaki bitümlü şeyllerin büyük bir bölümünün üzerinde bulunan steril örtünün kalınlığı fazla olduğundan açık işletme ile çıkartılması uygun değildir. Ayrıca bitümlü şeyl seviyeleri arasında kalan steril zonların kalın olması ve bitümlerin kalitelerinin düşük olması nedeniyle, ancak ileriki yıllarda zamanın şartlarına göre işletme yapılabilir.

### 4.2.8. Kocaeli-Bahçecik

Oligosen yaşlı şeyl seviyeleri; genellikle marn, killi kireçtaşı, silttaşı ve kilaşı ile ara katkılı olup, sahanın çeşitli yerlerinde farklı seviyeler ve kalınlıklar sunarlar. Alınan numunelerin analiz sonuçlarına göre bitümlü şeyllerin kalori değeri ortalama 1060 kcal/kg'dır. Rezerv tespitinde sahada ölçülen çok sayıda stratigrafik kesit ve yarmalardan faydalanılmış ve 42 milyon ton muhtemel bitümlü şeyl rezervi belirlenmiştir. Bitümlü şeyl seviyeleri arasında kalan steril zonlar kalın olduğundan sahadaki bitümlü şeylleri günümüz ekonomik şartlarına göre işletmek mümkün değildir.

#### 4.2.9. Kütahya-Seyitömer

Kütahya'nın 25 km kuzeybatısında yer alan Seyitömer Neojen havzası, içerdiği linyit ve bitümlü marnlar ile ülkemizin enerji hammaddeleri açısından önemli bir sahasını oluşturmaktadır. Bitümlü marnlar gri, yeşilimsi gri ve yer yer de kahverengi-gri renklindedir. Marn ve kilitaşı litoljisinin hâkim olduğu bitümlü kayaçlar, genellikle sert olmayıp kısmen plastik özellik göstermektedir. Silisifiye seviyelerin de yer aldığı birim içinde yer yer tabakalanma gözlenmektedir. Mevsimsel çökeli mi gösteren 1-5 mm kalınlıktaki laminalar özellikle bitümlü marn istifinin alt seviyelerinde yaygındır. Havzada alt linyit üyesi olarak ayrıtılan esas kömür damarı üzerinde yer alan 5 m'lik kesimde bitümlü marnlar yüksek ısıl değere sahiptir.

Flüoresan ışık altında kolaylıkla tanımlanabilen liptinit (ekzinit) grubu maseraller reçine, yağ, parafin ve benzeri maddeler içeren hidrojen zengin bitkisel materyalden türemiş olup mikrobiyolojik ayrışma ve bozunmaya dirençlidir. Organik maddenin esas bileşeni laminalı algler olduğundan petrol içeriği havzanın bazı kesimlerinde artmaktadır. Bitümlü marn özellikle bu kesimlerde petrolü şeyl tanımına uygun bir görünüm sergilemektedir. Örneklerde gözlenen spor polen, göl ortamı çevresindeki ağaçlardan ortama rüzgârlar yardımıyla taşınmış olup polen cins ve boyutları çökelleme alanının büyük bir bölümünde akarsularla taşınmanın önemli olmadığını göstermektedir.

Bitümlü marnlarda yüksek oranda gözlenen diyatomeleler, göl suyundaki oksijenli kesimi yansıtmaktadır. Bitümlü marn çökeli mi sırasında belli dönemlerde gerçekleşen diyatomele çökeli mi, anaerobik bir ortam oluşturarak organik maddenin oksidasyona uğramadan korunmasını sağlamıştır. Polen, planktonik alg, liptodetrinit ve hü mik parçacıklar genellikle inorganik matriks içinde ince tanecikler halinde saçılmış durumdadır. Toplam organik karbonun yaklaşık olarak %5'e ulaştığı düzeylerde, organik madde içeren seviyeler makroskobik olarak da belirginleşmektedir. Diyatomele çökeli minin tüm sekans boyunca gözlenmesi ve alglerin yaygın olarak yer alması, gölün derinliğinin çok fazla olmadığını göstermektedir.

Seyitömer (Kütahya) bitümlü marn sahasında yapılan ayrıntılı çalışmalar, söz konusu kayaçların havzada bulunan ve termik santralde yakıt olarak kullanılan linyit ile birlikte değerlendirilmesinin gelişmiş yakma teknolojileri (akışkan yatak) kullanılarak mümkün olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, 2 MW'lık bir pilot santralde gerçekleştirilen deneylerde,

bitümlü marnların yüksek kalsiyum içeriğinin, linyit ile birlikte yanma sırasında oluşan kirletici emisyonları düşürmede olumlu bir etki yaptığı da gözlenmiştir.

#### 4.2.10. Niğde-Ulukışla

Bölgedeki şeyller, yeşilimsi-boz, mavi renkli, çok ince taneli ve midye kabuğu şeklinde kırılmalıdır. Yapılan sondajlarda kesilen bitümlü şeyllerin ısıl değerlerinin 767 kcal/kg'ı geçmediği görülmüş, dolayısıyla önemli bir potansiyele sahip olmadığı ve katı fosil yakıt açısından bir potansiyel arz etmediği değerlendirilmiştir. Rezerv hesabına yönelik olarak yapılan çalışmada; rezerve esas olabilecek ısıl değere sahip zonlar tespit edilemediğinden rezerv hesabı yapılmamıştır.