

BİTÜMLÜ ŞİSTLERDEN PETROL ÜRETME YÖNTEMLERİ

GÜNER ÜNALAN Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara

GİRİŞ:

Bitümlü şistler, kerojen içeren ince taneli, sedimanter kayalardır. Bu kayalardan, ısı yoluyla, ham petrole çok benzeyen, şist petrolü elde edilebilir. Piroliz veya retort adı verilen bu işlem için, yaklaşık 500°C'lik bir ısı gereklidir.

Bitümlü şistlerden petrol üretiminde, *ex situ* ve *insitu* olmak üzere başlıca iki yöntem uygulanır. *Ex situ* yöntemlerde, buldukları yerden parçalanarak çıkarılan şistler, başka yerde, özel fırınlarda piroliz edilirler. *In situ* yöntemlerde ise, bitümlü şistler buldukları yerde işlem görürler.

Amerika Birleşik Devletleri'nde oil shale terimi, ton başına 42 litre veya daha çok petrol üretilen bitümlü şistler için kullanılır. Ton başına 42 litre petrol üreten şist, ağırlık yüzdesi olarak, yaklaşık %10 kerojen içerir (Burger, 1973).

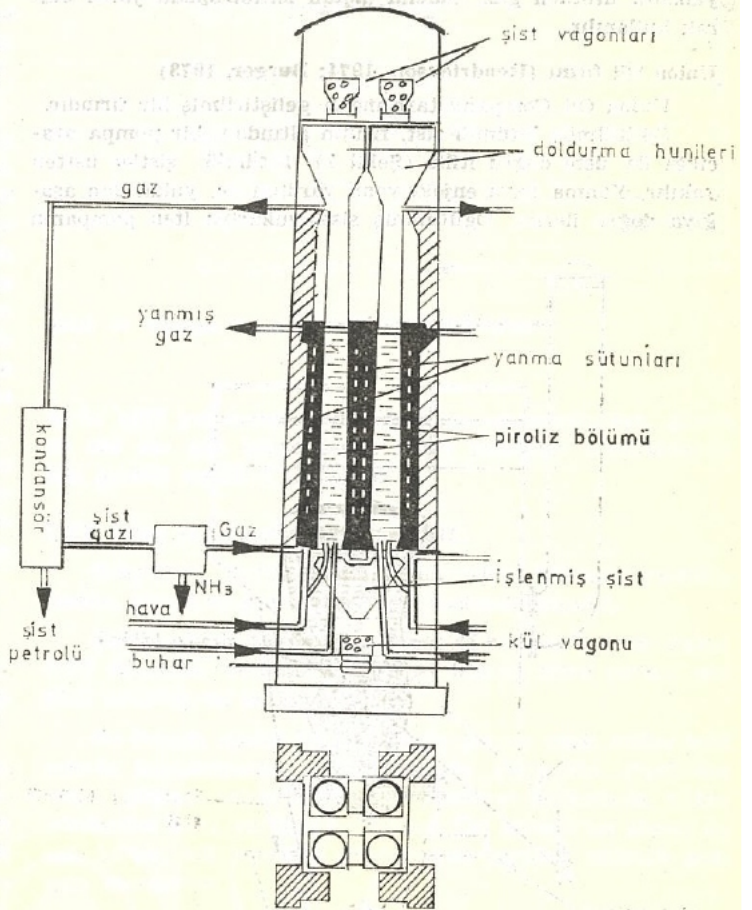
Bitümlü şist petrolün özgül ağırlığı 0,87 - 0,97 g/cm³ arasında değişir. Bu petrolün, oksijen, azot ve kükürt yüzdesi ile C/H oranı, ham petrole göre daha yüksektir (Louis, 1967). Bu yüzdeler, şistin ilksel organik maddesi ve piroliz yöntemine bağlı olarak değişir.

EX SITU PETROL ÜRETME YÖNTEMLERİ

Ex situ yöntemlerde, bitümlü şistler, çeşitli boyuttaki parçalar şeklinde, yataklarından çıkarılarak önce bir yere depolanır. Sonra özel fırınlarda piroliz edilerek, kendilerinden şist petrolü elde edilir.

Daha önce belirtildiği gibi, petrol üretmek için bitümlü şistlerin yaklaşık 500°C'ye kadar ısıtılmaları gerekir. Bugünkü yöntemlerle bu ısının, şiste iletilmesi 4 şekilde olabilmektedir:

- 1 — Bitümlü şist kabının dışındaki yanma ile (Pumpherson fırın, tünel fırınları).
 - 2 — Bitümlü şist kabının içindeki yanma ile (Union Oil ve Bureau of Mines fırınları).
 - 3 — Başka yerde ısıtılmış sıvı bir maddenin, bitümlü şist kabı içinde dolaştırılması ile (Grande Paroisse, Petrosix fırınları).
 - 4 — Başka yerde ısıtılmış katı cisimlerin, bitümlü şistlere karıştırılması ile (Tosco, UTT, Lurgi-Ruhrgas fırınları).
- Pumpherson fırını (Burger, 1973)



Şekil 1: Pumpherson fırını (Burger, 1973)

Bilinen en eski piroliz fırınlarından. İlk kez, 1860 yılında İskoçya'da kullanılmıştır. Günde 5 ton bitümlü şist işleyebilen bu fırın, şekil 1 de görüldüğü gibidir.

Fırının piroliz bölümü, üst kısımdaki huniler aracılığı ile, bitümlü şistlerle doldurulur. Piroliz bölümünün alt kısmından, hava-buhar ve yanma bölümünün alt kısmından ise,

hava ile şistten üretilen gaz gönderilerek yakılır. Bitümlü şistin pirolizi ile elde olunan buhar, üstten bir kondansöre gider. İki çıkışı olan kondansörden, bir yandan şist gazı elde edilir. Şist gazı yeniden fırının yanma bölümüne gönderilerek yakılır. İşlem görmüş fırının alt kısmından dışarıya çıkarılır.

Pumpherson fırını İskoçya'dan sonra, Fransa'daki Autun şistleri için kullanılmıştır. Fırının petrol üretimi oldukça düşüktür.

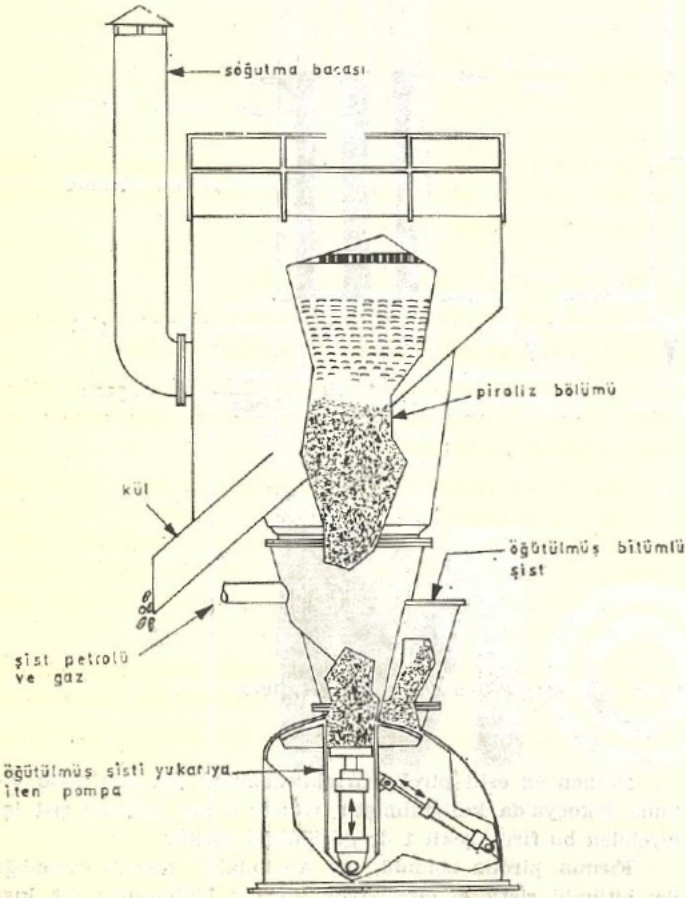
Diğer ülkelerde kullanılan Henderson, Rochesholm, Fels, Westwood gibi fırınlar, Pumpherson fırının değişik şekilleridir.

Tünel fırınlar (Burger, 1973; Cameron ve Dailey, 1970)

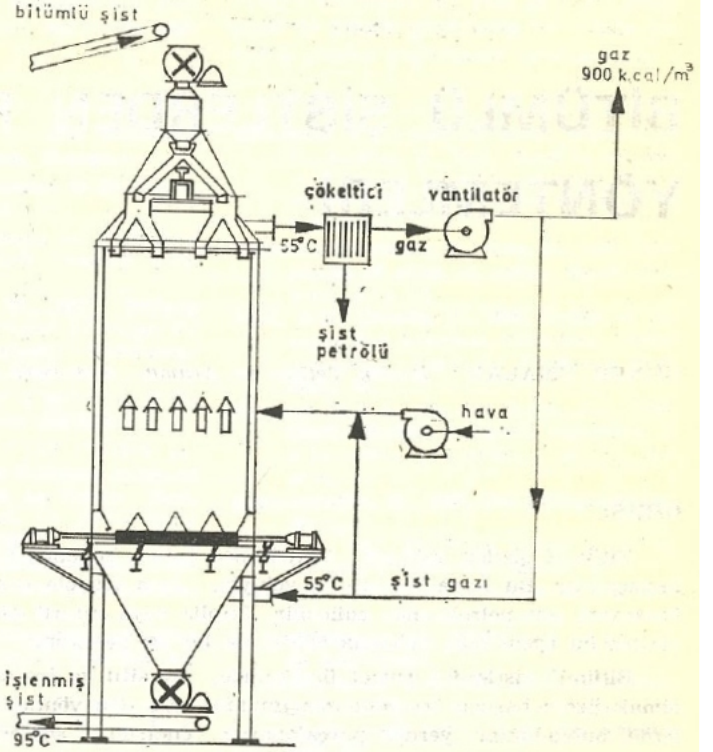
Estonya ve İsveç'teki bitümlü şistler için kullanılmıştır. Çelikten, 50 m uzunluğunda ve 2 m çapındaki tünel, ön ısıtma, piroliz ve işlenmiş şisti boşaltma bölümü olmak üzere, üç kısımdan oluşur. Tünel dışında yakılan gaz, tünel içine ısı sağlar. Küçük vagonlara yüklenmiş bitümlü şistler belli bir hızla tünel içinden geçirilir. Piroliz edilen şistten, petrolün yanısıra üretilen gaz, tünelin dıştan ısıtılmasında yakıt olarak kullanılır.

Union Oil fırını (Hendrickson, 1974; Burger, 1973)

Union Oil Company tarafından geliştirilmiş bir fırındır. Öğütülmüş bitümlü şist, fırının altından, bir pompa aracılığı ile, üste doğru itilir (Şekil 2). Bitümlü şistler üstten yakılır. Yanma hava enjeksiyonu yardımı ile, yukarıdan aşağıya doğru ilerler. Öğütülmüş şisti yukarıya iten pompanın



Şekil 2: Union Oil fırını (Hendrickson, 1974; Burger, 1973)



Şekil 3: Bureau of Mines fırını (Cameron, 1965; Hendrickson, 1974)

hızı, yanma düzeyinin, fırının orta kısmında olmasını sağlayacak şekilde şist petrolü fırının altından, küller ise üstten dışarıya çıkarılır.

Bu fırında işlenmiş şisti soğutmak için suya gerek yoktur. İşlenmiş şist dışarıya çıkmadan önce, üstten gönderilen hava ile biraz soğutulmuş olur.

Union Oil fırınının, 1958 yılında yapılan ilk denemesinde, günde 1100 ton bitümlü şist işlenebilmiştir. Gelecek yıllarda, istenildiğinde bu çeşit bir fırınla günde, 3000 ton bitümlü şist işlenerek, petrol üretilebileceği düşünülmektedir.

Bureau of Mines fırını (Cameron, 1965; Hendrickson, 1974)

Bureau of Mines tarafından, Colorado bitümlü şistlerinde, 1944-1956 yılları arasında kullanılmış bir fırındır.

Fırının üst kısmından öğütülmüş olarak dökülen bitümlü şist, üstten altta doğru, ön ısıtma, piroliz, yanma ve soğuma bölümlerinden geçerek, fırının alt kısmından dışarıya çıkar (Şekil 3). Piroliz ürünü olarak, petrolün yanısıra elde olunan gazın bir kısmı hava ile karıştırılarak, fırının orta kısmına gönderilir ve bitümlü şistlerle birlikte yakılır. Aynı gazın soğumuş olan diğer bir kısmı, fırının alt bölümündeki işlenmiş bitümlü şistin soğutulmasında kullanılır. Piroliz sonucu oluşan buhar, fırının üst kısmından çıkarak, bir çöktelticiye gider. Çöktelticide, şist petrolü ve gazı birbirinden ayrılır.

Bureau of Mines'ın iki deneme fırınında günde, sırasıyla 6 ve 23 ton, daha sonra geliştirilen yarı ticari fırında ise, günde 135 ton bitümlü şist işlenmiştir.

İşlenmiş bitümlü şisti soğutmak için suya gerek olmadığından, bu fırın Colorado gibi kurak bölgelerde kullanmaya elverişlidir.

Grande Paroisse fırını (Burger, 1973)

İlk kez St. Hilaire (Fransa) de kullanılmıştır.

Fırındaki bitümlü şistler içinde, yine bitümlü şistten üretilen gaz, ısıtılarak dolandırılır. Piroлиз, sıcak gazdan şiste iletilen ısı ile olur. Fırının üst kısmında bir ön ısıtma bölümünde 180-200°C ye kadar ısıtılır. Sonra aynı şistler, daha aşağıdaki bölümde piroliz edilir. Piroлиз bölümünden çıkan gazların bir kısmı kondansöre, diğer bir kısmı yine ısıtıcıya gelir. Kondansöre gelen gazlar şist petrolüne dönüşür. Piroлиз edilmiş şistte, kalıcı karbon varsa, bundan yararlanmak için, bu şist üzerine gaz ve hava püskürtülerek ateşlenir. Yanma ile oluşan sıcak gaz, ısıtıcıya gönderilir.

Isıtıcıya gelen gazları, istenilen dereceye kadar ısıtma da, yakıt olarak herhangi bir yanıcı madde kullanılabilir.

Grande Paroisse fırınının petrol üretimi oldukça iyidir.

Petrosix fırını (Cameron, 1965; Franco, 1972; Hendrickson, 1974; Oil and Gas Jour., 1972, 70, 14)

Brezilya'daki İrati bitümlü şistlerinden, petrol üretmek amacıyla geliştirilmiş bir fırındır. Şekil olarak Bureau of Mines fırınına benzer. Fakat Petrosix fırınında piroliz, fırın dışında ısıtılmış gazın, fırındaki bitümlü şistler içinden geçmesi ile olur.

Boyları 15 cm den küçük şist parçaları, fırına üstten konur ve işlenmiş şist, alttan dışarıya çıkarılır (Şekil 5). Fırının orta kısmından 700°C ve alt kısmından ise, 55°C ısıyı olan gaz gönderilir. Isısı yüksek olan gaz, şistlerin pirolizini, düşük olan ise, piroliz olmuş şisti soğutmaya yarar. Piroлиз ile oluşan buhar, gaz etkisiyle fırının üst kısmından çıkarak, önce bir ayırıcıya gider. Burada şist petrolü ayrılır. Buhar içindeki tozlar üzerinde kalan artık petrol, bir elektrostatik kapan aracılığı ile tozlardan ayrılır. Geriye kalan şist gazının bir kısmı yeniden fırına döner. Kalanı ise sıvı gaz ve kükürt üretiminde kullanılır.

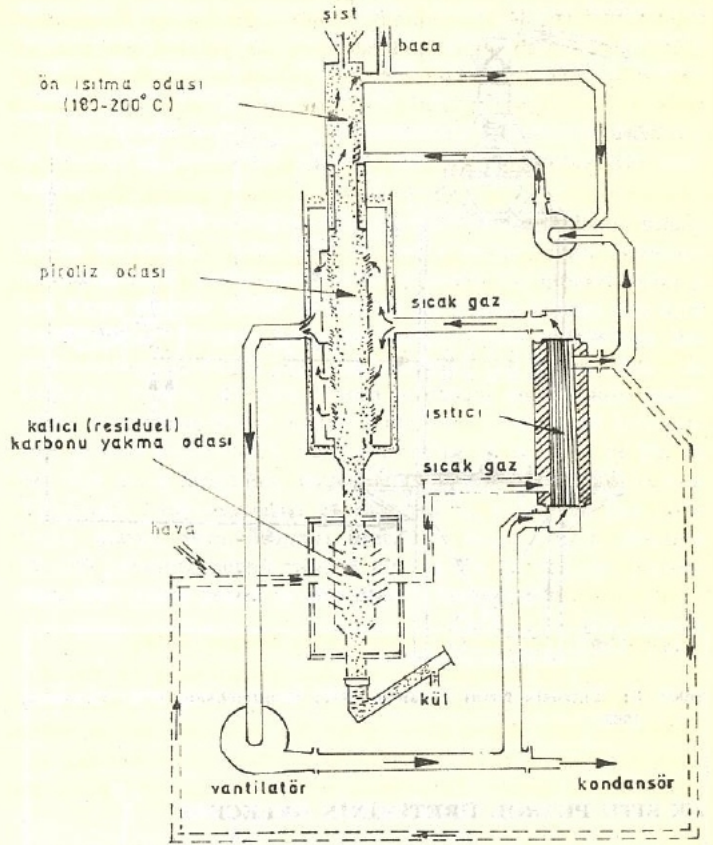
Petrosix fırının Brezilya'daki pilot çalışmalarından olumlu sonuçlar alındığı için, 1972 yılında yarı ticari tesisler kurularak üretime geçilebilmiştir. Bu tesislerde, günde 58.000 m³ şist petrolü, 36 500 m³ gaz, 14 ton kükürt üretilmektedir.

Tosco II fırını (Cameron, 1965; Hendrickson, 1972)

Tosco II fırınında, bitümlü şistlerin pirolizi, başka bir yerde ısıtılmış alüminyum bilyaların bitümlü şistlerle karıştırılması ile olur.

Şist ve bilyaların önceden ve ayrı yerlerde ısıtılmasında, şistlerden üretilen gaz kullanılır. Isınmış şist ve bilyalar dönen bir piroliz silindiri içine gönderilir (Şekil 6). Silindirden geçen bitümlü şist ve bilyalar bir depoda toplanır. İşlenmiş şist, deponun alt kısmından bir soğutucuya geçer ve orada soğuduktan sonra dışarıya çıkar. Bilyalar ise bir yükseltici ile belli bir düzeye kadar yükseltilir ve bu düzeyden kendi ağırlıkları ile yuvarlanarak, bilya ısıtıcısına giderler. Deponun üst kısmından alınan şist buharlarından, bir ayırıcı yardımıyla, gaz, nafta ve gas oil elde edilir. Elde olunan ürünlerden gaz, bilya ve bitümlü şistlerin önceden ısıtılmasında kullanılır.

İlk Tosco fırını ile günde 1 ton bitümlü şist işlenebilmiş, daha sonra, 1965-1967 yılları arasında, fırın geliştirilerek, günde 1000 ton şist işleyebilir düzeye getirilmiştir. Colora-



Şekil 4: Grande Paroisse fırını (Burger, 1973)

do'da 1972 yılına kadar devam eden çalışmalardan, günde 60 000 ton şist işleyebilecek ticari tesislerin kurulabilmesi için gerekli sonuçlar alınmıştır.

UTT fırını (Cieslewicz, 1967 ve 1971)

Rusya'nın, Baltık denizi kıyılarındaki kükersit yataklarından, petrol ve gaz üretimi için kullanılmaktadır.

Çalışma şekli bakımından Tosco II fırınına benzer. Fakat UTT fırınında, bitümlü şistlere ısı iletimi, bilya yerine, şist külü aracılığı ile sağlanır.

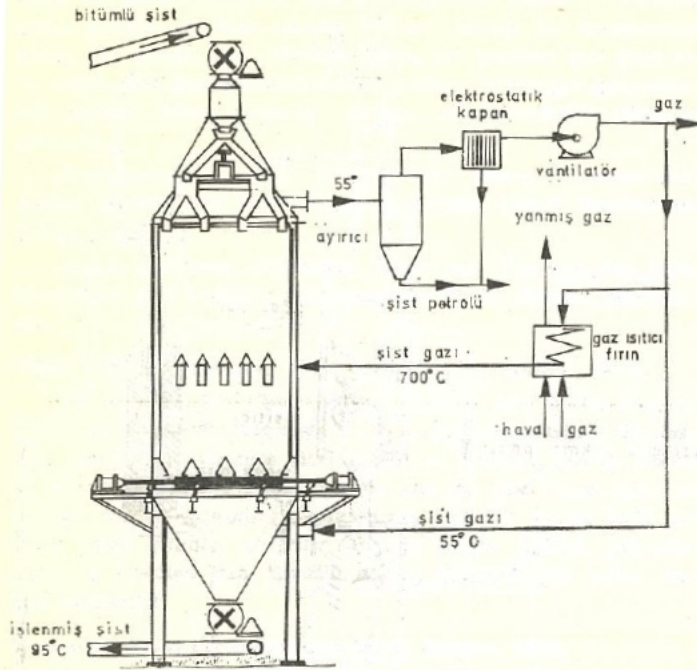
Bu fırında (Şekil 7), öğütülmüş şist ve sıcak küller belli oranda karıştırılarak, piroliz odasına gönderilir. Piroлизden sonra, şistteki kalıcı karbon, ısı yenileme bölümünde, alttan gönderilen hava yardımı ile yakılır. Üst kısmından alınan sıcak küller, kül hunisine gönderilerek yeniden bitümlü şistlerle karıştırılır.

UTT fırını ile, 470-520°C ler arasında bir ısı kullanıldığına esas olarak petrol, 650-780°C ler arasında ise, gaz üretilir.

Bu fırında, günde ortalama 500 ton bitümlü şist işlenebilir.

Lurgi-Ruhrgas fırını (Hendrickson, 1974)

Lurgi-Ruhrgas fırını UTT fırınına çok benzer. Fakat bu fırında, ısı iletici katı cisim olarak, kum veya kok kömürü parçaları kullanılır.



Sekil 5: Petrosix fırını (Franco, 1972; Hendrickson, 1974; Cameron, 1965)

EX SITU PETROL ÜRETİMİNİN GELECEĞİ

Bitümlü şistlerden ex situ olarak petrol üretimi 19. yüzyılda başlamış fakat günümüze kadar sürekli olmamıştır. Bitümlü şist endüstrisi, ülkelerin siyasal ve ekonomik durumlarına bağlı olarak, zaman zaman, özellikle Birinci ve İkinci Dünya Savaşları boyunca gelişmeler göstermiştir. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra, Rusya, Çin ve Brezilya dışındaki diğer bazı ülkelerde, şist endüstrisinde bir duraklama olmuş ve birçok tesis kapatılmıştır. Bunun başlıca nedenlerinden biri, ham petrol fiyatının şist petrolü fiyatına göre daha düşük olmasıdır. Son yıllarda ham petrol fiyatlarındaki hızlı artış karşısında, özellikle zengin yataklara sahip Amerika Birleşik Devletleri'nde, bitümlü şistler yeniden önemle ele alınmıştır. Sadece Piceance Creek basenindeki (Colorado) Eosen yaşlı Green River Formasyonu'nda, 68 milyar ton ham petrole eşdeğer, bitümlü şist rezervinin söz konusu olduğu gözönüne alınırsa (Keighin, 1975), konunun bu ülke için taşıdığı önem daha iyi anlaşılır. Yukarıda verilen rakam, adı geçen sahada sadece 3 m den daha kalın ve ton başına 25 galdondan fazla petrol üretebilecek bitümlü şistler esas alınarak elde edilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde bitümlü şistlerden ex situ olarak bu ticari anlamda petrol üretimine 1980 yılında başlanılacaktır (Oil and Gas Jour., 1972, 70, 51). Bu alanda Union Oil Company of California'nın Colorado'da, 1979 yılında hizmete girecek ve yılda 2,5 milyon ton şist petrolü üretecek tesisler kuracağı bildirilmektedir (Pétrole Inf. 1974, No. 1299).

Yapılan araştırmalara göre, Colorado şistlerinden ex situ olarak üretilen petrolün varil fiyatının 12 dolar olacağı bilinmektedir (Rothman, 1975). Aynı şekilde, Fransa'da, çok yakın bir gelecekte, bitümlü şistlerden petrol Enstitüsü'nün (IFP) yaptığı araştırmalara göre Paris besenindeki Toarsi-

yen yaşlı şistler işlendiğinde, elde edilecek petrolün varil fiyatının 12 dolar olacağı belirtilmektedir (Pétrole Inf., 1975, No. 1344). Bugün bir varil ham petrol fiyatının yaklaşık 11,5 dolar olduğu gözönüne alınırsa, arada çok az bir farkın kaldığı ve yakın gelecekte bitümlü şistlerden ex situ olarak üretilen petrolün ekonomik olacağı düşünülebilir.

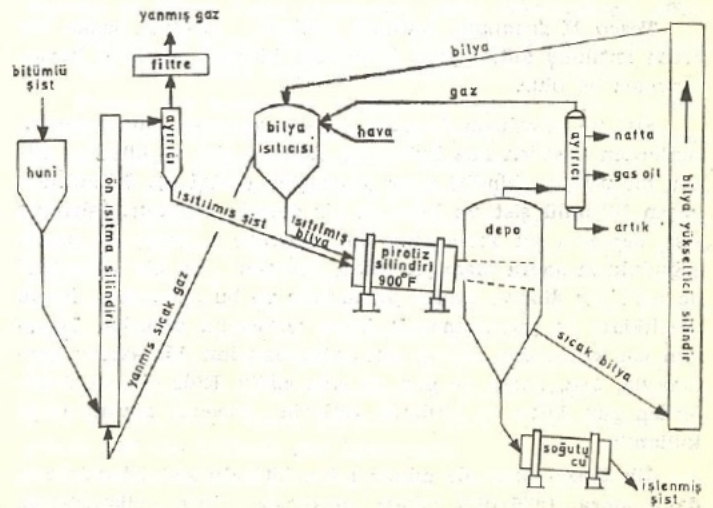
IN SITU PETROL ÜRETME YÖNTEMLERİ

Bu yöntemlerde, bitümlü şistler yeraltında yakılarak, piroliz edilir. Piroliz sonucu üretilen petrol, üretim kuyuları aracılığı ile yeryüzüne çıkarılır (Şekil 8). Bitümlü şistler geçirimsiz kayalar olduklarından, yeraltında yakılabilmeleri için, önce, bu kayalarda bir geçirimsizlik yaratma gereği vardır. Bu işlem oldukça güçtür. Ayrıca daha önce değinildiği gibi, petrol üretimi için, şistlerin en az 500°C ye kadar ısıtılmaları gerekir. Ex situ işlemlerde, kapalı kaplar içinde, bu ısıya ulaşmak kolaydır. Fakat yeraltında, belli bir hacimdeki bitümlü şiste bu ısıyı iletme birçok nedenlerden güçlük yaratmaktadır (Dougan ve diğerleri, 1970).

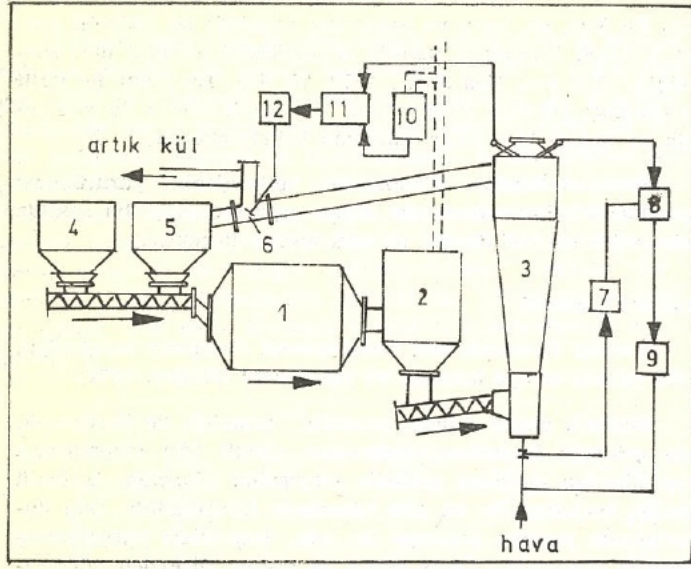
İn situ işleme ile ilgili olarak Kuzey Amerika'da, Sinclair Oil and Gas Company, US Bureau of Mines, Shell Oil Company ve Equity Oil Company gibi çeşitli kuruluşlar, inceleme ve denemeler yapmaktadır. İlk denemeler, 1953 - 1954 yıllarında, Sinclair Oil and Gas Company tarafından, Piceance Creek baseninde (Colorado) yapılmıştır (Grant, 1964). Bu denemelerde, önce şistler içinde açılan enjeksiyon kuyularından gönderilen yüksek basınçlı hava ile şistler içinde çatlaklar ve buna bağlı olarak, geçirimsizlik yaratılmıştır. Sonra, yine enjeksiyon kuyularından gönderilen benzin ve hava karışımı, yeraltında şistlerle birlikte yakılmıştır. Üretim kuyularında yapılan ölçülere göre, yeraltında iyi bir yanmanın oluştuğu anlaşılmıştır. Fakat şistler içinde açılan çatlakları, piroliz süresince açık tutabilmek için sürekli basınçlı hava gereği, bu denemeleri başarısız kılmıştır.

US Bureau of Mines tarafından yapılan araştırmalar

US Bureau of Mines laboratuvarlarında bitümlü şistler içine yerleştirilen iki elektroda birkaç bin voltluk bir elektrik akımı verilerek, iki elektrod arasındaki şistlerde bir geçirimsizlik elde edilebilmiştir (Melton ve Cross, 1967). Aynı deney,



Sekil 6: Tosco II fırını (Cameron, 1965; Hendrickson, 1974)



Şekil 7: UTT fırını (Cieslewicz, 1967 ve 1971)

1 — Piroliz odası, 2 — Toz odası, 3 — Isı yenileme bölümü, 4 — Bitümlü şist hunisi, 5 — Sıcak kül hunisi, 6 — Vana, 7 — Kullanılan hava miktarını ölçer cihaz, 8 ve 9 — Fırında iyi yanmayı ayarlayıcı cihazlar, 10 — Toz odasındaki toz düzeyini ölçer cihaz, 11 ve 12 — Piroliz odasına giren şist miktarını ölçer cihazlar.

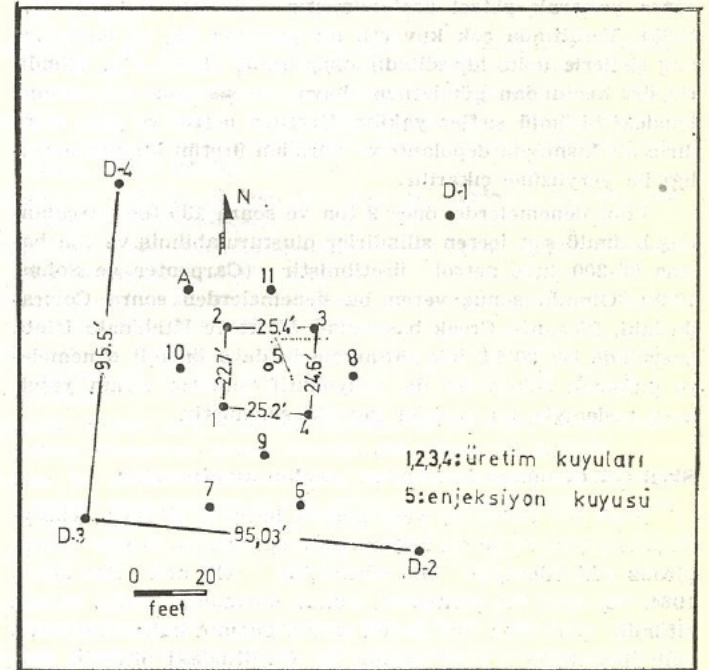
Wyoming'te Green River Formasyonu'nun şistlerinde yapılmıştır (Burwell ve diğerleri, 1970). Bu eyalette, Rock Springs yakınlarında, 8 in situ deneme alanı bulunmaktadır. Bunlardan 4 No. lu alanda, şekil 9 da görüldüğü gibi, "5 nokta modeli" ne göre (5 spot pattern) kuyular açılmıştır (Oil and Gas Jour., 1973, 71, 45).

5. No. lu kuyu enjeksiyon kuyusu, diğer 1, 2, 3, ve 4 No. lu kuyular ise, üretim kuyularıdır. Önce geçirimsizlik yaratabilmek için, 5 No. lu kuyudan yüksek basınçlı hava basılmış, daha sonra aynı amaçla, şistlere 2500 voltluk bir akım verilmiştir. Bu işlemlerden sonra yapılan hava akım testleriyle, istenilen geçirimsizliğin elde edilmemiş olduğu anlaşılmıştır. Hava akım testlerinde, enjeksiyon kuyusundan basılan belli basınçtaki havanın, üretim kuyusuna varıştaki basıncı bul-

nur. Aradaki basınç farkına göre, yaratılan geçirimsizlik saptanabilir (Miller ve Howell, 1967). Daha sonra, enjeksiyon kuyusundan sıvı nitrogliserin (NGL) gönderilmiş ve patlatılmıştır. Bu patlama ile oluşan 100 000 atmosferlik basınç, şistler içinde, gerekli geçirimsizliği sağlamıştır.

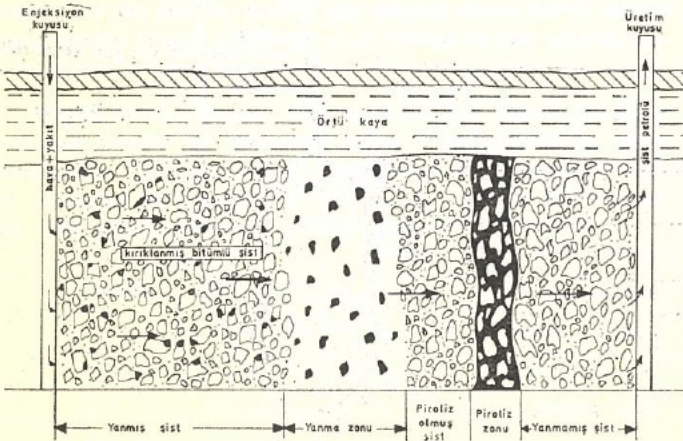
Modeldeki D kuyuları, yeraltındaki çatlakların dağılımını saptamak amacı ile yapılan sismik incelemeler için açılmıştır.

Yeterli geçirimsizliğin elde edildiği anlaşıldıktan sonra, bütün kuyuların, yüzeyden 68 feet'e kadar olan kısımları casing'lenerek, sıcağa dayanıklı çimento ile çimentolanmıştır. Kuyu dibinde kalan 20 feet'lik bir bölüm yanma için açık bırakılmıştır. Propan, hava ile karıştırılarak enjeksiyon kuyusundan gönderilmiş ve ateşlenmiştir. 23 Nisan 1969 da başlayan yanma, 42 gün devam ettirilmiş ve sonunda yeraltında, yanmanın kendi kendine devam edebileceği anlaşılacak, propan enjeksiyonu durdurulmuştur (8, 9, 10 ve 11 No. lu kuyular arası uzaklığın, başka deyimle her bir "5 nokta modelinin başlamasından 24 saat sonra, petrol ve gaz (nitrojen, metan, etan, propan) üretimine başlanmıştır. Sonuçta 32 000 galonluk petrol rezervi olan 4 No. lu deneme alanından, 8000 galon petrol in situ olarak üretilmiştir.

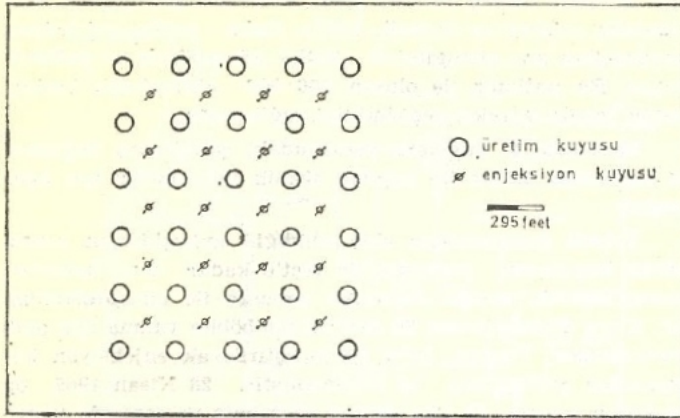


Şekil 9: Rock Springs teki 4 No. lu deneme alanı (Oil and Gas Jour., 1973, 71, 45)

Birçok "5 nokta modeli"nin yanyana getirilmesi ile, daha geniş bir alandan petrol üretiminin gerçekleştirilebileceği, hem matematiksel olarak, hem de arazi denemelerinde ortaya konmuştur. İşlem görececek bitümlü şist alanı değişmezse, kuyular arası uzaklığın, başka deyimle her bir "5 nokta modeli" alanının, petrol verimi yönünden önemli büyüktür. Piceance Creek baseninde (Colorado) yapılan denemeler (Dougan ve diğerleri: 1970) göstermiştir ki, 40 acre (16 hektar)lık bir alanda, şekil 10'da görüldüğü gibi, herbirinin alanı 2 acre olan, 20 adet "5 nokta modeli" ile en iyi petrol üretimi sağlanmaktadır. Her "5 nokta modeli"nin alanı arttıkça, projenin ömrü uzar, fakat üretim azalır. Tersine, model alanı küçüldükçe, proje ömrü azalır, buna karşın petrol üretimi artar.



Şekil 8: Bitümlü şistlerden in situ olarak petrol üretimi (Duvall ve Jensen, 1975)



Sekil 10: Piceance Creek basenindeki 16 hektarlık deneme alanı (Dougan ve diğ., 1970)

US Bureau of Mines, başka bir denemesinde, yeraltında nükleer patlama ile, belli hacimdeki bitümlü şisti parçalayıp, sonra yakarak petrol üretebilmiştir (Lekas ve Carpenter, 1965). Yeraltında çok kuvvetli bir patlama ile, içi parçalanmış şistlerle dolu, bir silindir oluşturulur (Şekil 11). Silindirin üst kısmından gönderilen hava ve şist gazı ile, silindirin alt kısmında depolanır ve buradan üretim kuyusu aracılığı ile yeryüzüne çıkarılır.

Pilot denemelerde, önce 9 ton ve sonra 135 ton parçalanmış bitümlü şist içeren silindirler oluşturulabilmiş ve ton başına 90-200 litre petrol üretilmiştir (Carpenter ve Sohns, 1968). Olumlu sonuç veren bu denemelerden sonra Colorado'daki, Piceance Creek baseninde, 50 kt ve Utah'daki Uinta baseninde ise 20 kt luk patlamalarla daha önemli denemelere girişmek istenmişse de, radyoaktif ışınların etrafa yayılması nedeniyle, bu projeler gerçekleştirilmemiştir.

Shell Oil Company tarafından yapılan araştırmalar

Shell Oil Company yeraltındaki bitümlü şistlerin, yüzeyde hazırlanan ve yeteri kadar ısıtılmış buharla, *in situ* olarak piroliz edilebileceğini öne sürmüştür. (Oil and Gas Jour., 1964, 62, 10). Bu yöntemde, buhar kazanında, yakıt olarak bitümlü şistlerden üretilen metan gazının kullanılacağı belirtilmektedir. Buhar kazanı ile yeraltındaki bitümlü şistler arasındaki uzaklıktan ötürü bir ısı kaybı olacaktır. Bu nedenle, buhar kazanındaki ısının 500°C nin üzerinde olması gerekir. Bu ısının eldesi, teknik açıdan bazı sorunlar ortaya çıkarmaktadır.

Equity Oil Company tarafından yapılan araştırmalar

Bu kuruluşun laboratuvarlarında, bitümlü şistler 400°C ye kadar ısıtılmış doğal gaz aracılığı ile piroliz edilerek, bol miktarda petrol üretilmiştir (Hill ve Dougan, 1967; Oil and Gas Jour. 1966, 64, 20). Bu yöntemle üretilen petrolün özgül ağırlığı, diğerlerine göre daha düşüktür. Ayrıca üretilen petroldeki azot oranı da daha küçüktür.

Piceance Creek baseninde yapılan arazi denemelerinden alınan sonuçların, laboratuvar sonuçlarını kanıtlayıcı oldukları belirtilmektedir (Burger, 1973).

Güney Kaliforniya Üniversitesi'nin araştırmaları

Ten Fu Yen, su, hava ve bakteriler aracılığı ile bitümlü şistler içindeki kerojenin, petrole dönüştürülebileceğini ileri sürmüştür (Oil and Gas Jour., 1972, 70, 46). Bu konu ile ilgili çalışmaları yürüten araştırmacı, Thiobacillus'lerin bu yöntem için en uygun bakteriler olduğunu belirtmektedir.

National Science Fundation, bu projenin yürütülmesi için 120 000 dolar vermiştir. Eğer gerçekleşirse, bu şekilde çok az bir masraf ile şist petrolü üretililecektir.

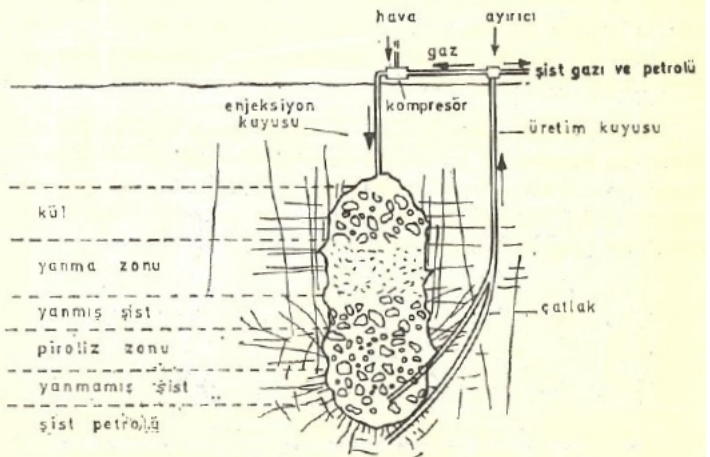
Garrett yöntemi

Garrett Research and Development Company tarafından, 1972 yılında ortaya konmuş bir yöntemdir (Ridley, 1974).

Bitümlü şistler içinde, galeriler aracılığı ile ilerliyerek, oda şeklinde boşluklar oluşturulur (Şekil 12.) Oluşturulan boşluklardan parçalar şeklinde yeryüzüne çıkarılan bitümlü şistler, herhangi bir *ex situ* işlenmede kullanılabilir. Oda duvarlarında yapılan patlama ile, oda boşlukları parçalanmış şistlerle doldurulur. Daha sonra bu şistler yüzeyden gönderilen hava ve propan yardımı ile yakılır. Yanma, oda içinde, yukarıdan aşağıya doğru ilerler. Yanma başlangıcından birkaç saat sonra propan akımı kesilir ve yanma kendiliğinden devam eder. Yeryüzü cihazlarıyla, odalar içindeki ısı, piroliz, hava-propan akımı vb. kontrol edilir (Ridley ve Chew, 1975). Piroliz sonucu oluşan ve odaların tabanında toplanan şist petrolü, pompalarla çekilerek, yeryüzüne çıkarılır.

Bu yöntemin Colorado'da Riffle'in 30 mil batısında yapılan ilk arazi denemesinde, 72 feet yüksekliğinde ve 30x30 feet tabanlı odalar oluşturulmuş, yaklaşık 4000 ton bitümlü şist kırılarak yakılmış, piroliz sonucu 1200 varil petrol üretilmiştir. Günde 100 000 varil petrol üretebilecek bir tesisin kurulabilmesi için 600 milyon dolarlık bir yatırımın gerekli olduğu ve bu tesiste üretilen petrolün varil fiyatının 8 dolar olacağı yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Rothman, 1975).

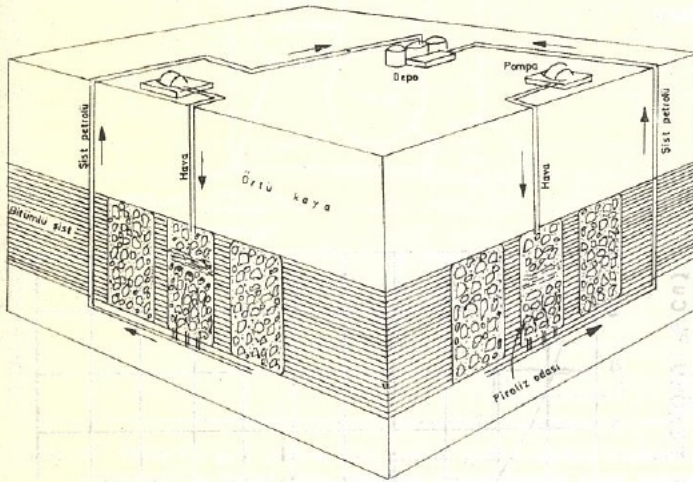
Yukarıda verilen rakamdan da anlaşılacağı gibi, Garrett yöntemi ile üretilen petrol, diğer *in situ* ve *ex situ* yöntemlerle üretilenlere göre, daha ucuzdur. Bu nedenle, düşük kaliteli bitümlü şist yataklarından bu yöntemle, ekonomik olarak yararlanma olanağı vardır.



Sekil 11: Bitümlü şistlerden nükleer patlama ile petrol üretimi (Burger, 1973)

İN SİTU PETROL ÜRETİMİNİN GELECEĞİ

Bitümlü şistlerden in situ olarak petrol üretme konusu oldukça yenidir. İlk arazi denemeleri, yukarıda değinildiği gibi, 1953-54 yıllarında, Colorado'da yapılmıştır. Bu yıllardan günümüze kadar geçen kısa zamanda konu ile ilgili çok büyük gelişmeler olmuşsa da, ticari anlamda in situ üretime geçilememiştir. (Pétrole Inf., 1975, No. 1341). Bununla beraber, Occidental Petroleum Corporation tarafından, 1976 yılı başlarında, Logan Wash (Colorado) da, günde 500 varil petrol üreten tesislerin kurulduğu belirtilmektedir (Pétrole Inf., 1976, No. 1388). Önümüzdeki yıllarda ise, hükümetin desteği ile, günde 5000 varil üretecek tesislerin kurulabileceği açıklanmıştır.



Şekil 12: Garrett yöntemi (Rothman, 1975 ten sadeleştirilerek alınmıştır)

SONUÇLAR

Ex Situ petrol üretiminde, bitümlü şistlerin buldukları yerden parçalar şeklinde alınarak başka bir yere taşınmaları ve özel fırınlarda piroliz edilmeleri, in situ petrol üretiminde ise, yer altındaki şistlerde geçirimsizlik yaratma gereği vardır. Ayrıca her iki şekilde, piroliz için gerekli ısının 500°C olması gibi nedenler birçok güçlükler yaratmakta ve şist petrolü maliyet fiyatını artırmaktadır.

Bugün sadece Rusya, Çin ve Brezilya, enerji gereksinmelerinin önemli bir bölümünü bitümlü şist petrolü ile karşılamaktadır. Dünyanın en büyük bitümlü şist rezervlerine sahip Amerika Birleşik Devletleri'nde, şist petrolü üretimi ancak 1980 yıllarında başlayabilecektir.

Son yıllardaki enerji krizi ve sürekli olarak artan ham petrol fiyatları karşısında, şist petrolü üretimi ekonomik olma düzeyine erişmiştir. Bu nedenle önümüzdeki yıllarda ABD yanında, diğer birçok ülkenin şist petrolü üretimine başlaması beklenmelidir.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Burger, J., 1973, L exploitation des pyroschistes on schistes bitumeux Rev. I.F.P., XXVII, 3, 315-372,
- Burwell, E.L., sterner, T.E. ve Carpenter, H.C., 1970, Shale oil recovery by in-situ retorting-A pilot study: Jour. Pert. Tech., 22, 1520-1524
- Cameron, R.J., 1965, The Cameron and Jones vertical kiln for oil shale retorting, Second symposium on oil shale: Quart. Colorado Sch. Mines, 60, 3, 131-146
- Cameron, R.J. ve Dailey, J. L., 1970, The international synthetic fuels pictures: Quart. Colorado Sch. Mines, 65, 4, 25-40
- Carpenter, H. C. ve Sohns, H W., 1968, Application of aboveground retorting variables to in situ oil shale processing: Quart. Colorado Sch. Mines, 63, 4, 71-82
- Cieslewicz, W. J., 1967, Present trends in Estonian-Russian work on oil shale: Quart. Colorado Sch. Mines, 62, 3, 141-165
- Cieslewicz, W. J., 1971, Selected topics of recent Estonian - Russian oil shale research and development: Quart. Colorado Sch. Mines, 66, 1, 29-37
- Dougan, P. M., Reynolds, F.S. ve Root, P. J., 1970, the potential for in situ retorting of oil shale in the Piceance-Creek Basin of northwestern Colorado: Quart. Colorado Sch. Mines, 65, 4, 57-72
- Duvall, J. J. ve Jensen, H. B., 1975, Simulated in situ retorting of oil shale in a controlled state retort: Quart. Colorado Sch. Mines, 70, 3, 187-205
- Franco, A. 1972, Brazil tries new shale-oil process: Oil and Gas Journal, 70, 37, 105-112
- Grant, B.F., 1964, First symposium on oil shale: Quart. Colorado Sch. Mines, 59, 3, 39-46
- Hendrickson, T. A., 1974, Oil shale processing methods: Quart. Colorado Sch. Mines, 69, 2, 45-69
- Hill, G. R. ve Dougan, P., 1967, The characteristics of a low temperature in situ shale oil: Quart. Colorado Sch. Mines, 62, 3, 75-90
- Keighin, C. W., 1975, Resource appraisal of oil shale in the Green River Formation: Quart. Colorado Sch. Mines, 70, 3, 57-68
- Lekas, M. A. ve Carpenter H.C., 1965, Fracturing oil shale with nuclear explosives for in situ retortnig. Second symposium on oil shale: Quart. Colorado Sch. Mines, 60, 3, 7-30
- Louis, M., 1967, Cours de Géochimie du Pétrole: Soc. Edit. Technip, Paris.
- Melton N. M. ve Cross, T. S., 1967, Fracturing oil shale with electricity: Quart. Colorado Sch. Mines, 62, 3, 45-61
- Miller, J. S. ve Howell W. D., 1967, Explosive fracturing tested in oil shale: Quart. Colorado Sch. Mines, 62, 3, 63-73
- Ridley, R. D., 1974, In situ processing of oil shale: Quart. Colorado Sch. Mines, 69, 2, 21-24
- Ridley, R.D. ve Chew, R. T., 1975, In situ oil shale process development: Quart. Colorado Sch. Mines, 70, 3, 123-128
- Rothman, A. J., 1975, Research and development on rubble in-situ extraction of oil shale (Rise) at Lawrence Livermore Laboratory: Quart. Colorado Sch. Mines, 70 3, 159-178