

BÖLÜM IX

PETROLÜN BİRİNCİL VE İKİNCİL GÖÇÜ

GİRİŞ

Petrolün birincil göçü petrol oluşumu kadar önemli olan bir olaydır. Aynı zamanda petrol oluşum koşullarıyla çok yakından ilgilidir. Petrolün oluşumu ve birincil göçü ile sayısız araştırmacılar meşgul olmuşlardır. Petrolün ikincil göçü birincil göçü yanında daha basit koşullarda gerçekleşmektedir. Bu nedenlerle araştırmacılar petrolün oluşumu ve birincil göçü ile göçme modelleri üzerinde daha çok ilgilenmişlerdir. Bu konuda sayısız deneylerde çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmıştır.

Ekonomik miktarda petrol ve gazın bulunabilmesi; petrolün oluşumu, birincil ve ikincil göçü ile bunlara etkiyen koşulların iyi bilinmesine bağlıdır. Bu koşulların yeterince bilinmesi ve uygulamalarda kullanılması bazı lüzumsuz masraflardan koruyacağı gibi ekonomik miktarlarda birikmiş hidrokarbon kapanlarının yerlerinin belirlenmesinde yardımcı olacaktır.

PETROL GÖÇÜ

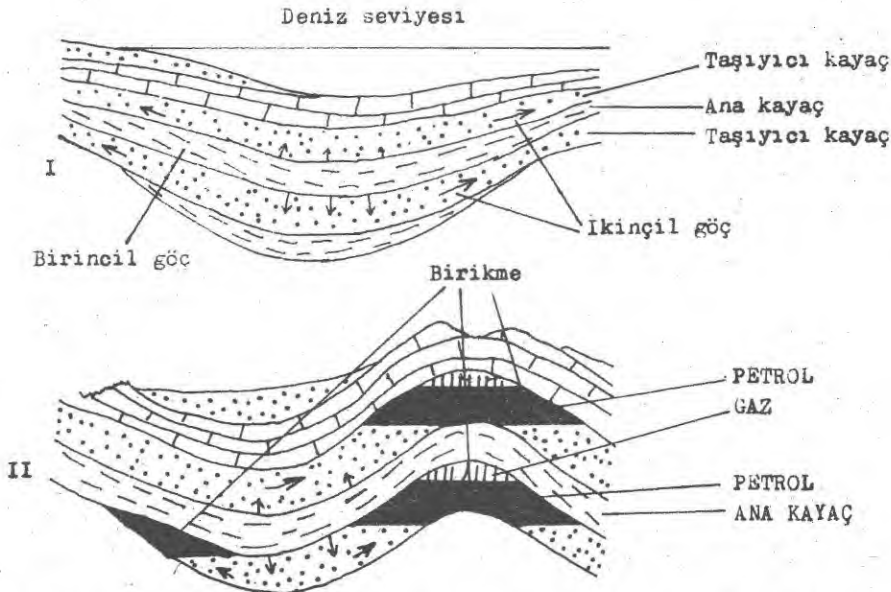
Petrol göçü, petrol ile ana kaya arasındaki ilişkide önemli bir kilit noktası oluşturur. Bu petrol birikmelerinin oluşması için yalnız bir tahmin olmayıp bilakis gerçek bir potansiyel ana kayasından oluşan karar verici bir olaydır. Genelde bilinen bu olay ayrıntıda çeşitli problemlerin yalnız bir bölümü için anlaşılır yapı özelliklerini açıklar.

Burda önemli noktaları ortaya koymak için mümkün olduğu kadar ayrıntılı açıklamalara gayret sarfedilecektir.

Petrol ve gazın; jeolojik zaman sürelerinde artan gömülme derinliğiyle sedimanlarda ince dağılmış organik materyalden oluştuğu or-

taya konmuştur. İlk petrol damlacıkları ve gaz kabarcıkları organik malzemenin dağılım durumuna uygun olarak sediman bünyesinde serpilmiştir. Bunlar sedimanın organik olmayan bileşenleri tarafından birbirlerinden ayrılmışlardır. Yeni oluşan petrolümsü elementler organik malzemeyi zorlar ve doldurur. Bu olay muhtemelen bulutumsu bir tarzda gerçekleşir. Vassoieviç, ada tarzındaki petrol kümelerinden oluşan ve sedimanda dağılmış olan petrol için "Mikronaphtha" deyimini kullanmıştır. Bu petrolün cüzi bir kısmı göç etmiş olmalıdır. Eğer petrol komponentleri kerojenden serbest bırakılmış ve kılcal borular vasıtasıyla gözenekli hazne kayaya erişmemişse petrolün birincil gücünden söz edebiliriz. Şayet petrol ana kayadan uzaklaştırılmış, geçirgen ve büyük gözenekli hazne kaya içinden kapana kadar hareket etmişse ikincil petrol göçü olarak adlandırılır.

Şekil 74'de şematik olarak birincil ve ikincil petrol göçü ile yapısal ve stratigrafi kapan tipleri gösterilmiştir. Ayrıca şekilde tuzlu su, petrol ve gazın yoğunluklarına göre dizilimleri de görülmektedir. Şekil 74-I'de birincil ve ikincil göçün başlangıç safhası II'de ise bu göçlerin ilerlemiş safhalarında petrol oluşum ve birikmesini izlemekteyiz.



Şekil 74. Petrol ve gaz birikimlerinin oluşumu-havza gelişiminin başlangıç ve gelişmiş aşamalarında birincil ve ikincil göçün şematik görünüşü I-Birinci ve ikincil göçün başlangıç safhası II- Birincil ve ikincil göçün gelişmiş safhası ve birikimin oluşumu (Tissot ve Welte, 1978)

Isı akısı yüksek olan bölgelerde petrol sığda oluşur. Yüksek sıcaklıktaki petrolün viskozitesi düşük olacağı için, oluşan petrol kolaylıkla göç edebilir. Ayrıca yerin sığ zonundaki kırıntılı kayaların gözenekliliği derindekilere oranla daha yüksektir. Bu nedenle türeyen petrolün hazne kaya içinde birikimi kolaylaşır. Petrolün göçü genellikle alttan üste doğrudur, diğer yandan sıcak ortamdaki daha az sıcak olan ortama doğru olacaktır. Bu göçle, bir kütle taşınması meydana gelirken bu da petrol kapanlama alanlarındaki ısı akışının komşu yöreye göre daha yüksek olmasına neden olur.

BİRİNCİL GÖÇ

Potansiyel petrol ana kayaları genelde ince taneli ve kil minerallerince zengindirler. Bu kayaların başlangıçta büyük gözeneklilik göstermeleri dikkati çekicidir. Bu gözeneklilik ilerleyen zaman ve artan gömülme derinliğiyle yavaş yavaş azalır. Sıkışma ile gözenek hacmi büyük ölçüde daralır, gözeneklerde bulunan su ve diğer akmaya meyilli olan komponentler dışarı atılır. O halde sıkışma birincil göçün esas öğesidir. Bu ilişkiler Hubson (1954), Gussov (1954) ve Levorsen (1958) tarafından tanınarak belirlenmiştir.

Hedberg (1926, 1936) ve Athy (1930) da killi sedimanların gözeneklilik ile üzerindeki yük basıncı ve aynı şekilde gözeneklilik ile çökme derinlikleri arasındaki ilişkileri ayrıntılı olarak ilk defa yayınlamışlardır. Hedberg (1936) 4 çeşit sıkışma safhası önermiştir:

a) Mineral tanelerinin mekanik yönlendirilmesi ve gözenekliliğin % 95 ten % 75'e düşmesi. Bu olay 0-0.1 m sediman örtüsü altında gerçekleşir ve bu esnada serbest su dışarı atılır.

b) Gözeneklilik % 75 ten % 35'e düşer, sediman giderek suyunu kuvvetli olarak kaybeder. Bu olay birinci safhanın sonundan 200-300 m derinliğe kadar olur. Eğer kil mineralleri direkt birbirleriyle temas gelmişlerse bu safha sona erer. Bu safha sonunda sedimanda çok az serbest su mevcut olabilir.

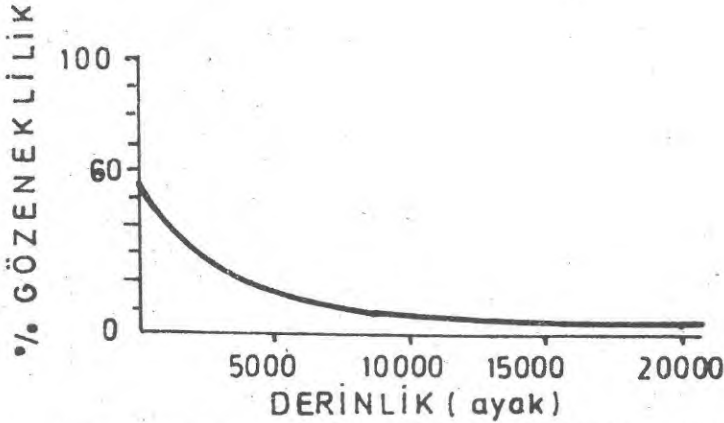
c) Mineral tanelerinin mekanik deformasyonu ve gözenekliliğin % 35 ten % 10'a düşmesi. Sediman bu zaman aralığında 300 m den 2000 m.'ye kadar çöker. Bu esnada gözeneklerdeki mevcut sıvılar gittikçe daralan gözenek boşluklarından dışarı atılır.

d) Bu safhada, kayaç içinde yeniden kristalleşme olayları ceryan eder. Gözeneklilik yavaş yavaş % 10'un altına düşer. 3000 m derinlik-

lerde yine de % 8 civarında gözeneklilik değerleri ölçülebilir. Bu safhada kayaç içinde yalnız adsorbe edilmiş su bulunur.

Hedberg bu denemelerini Venezüella'da yapılan petrol sondajlarından alınan killi karot numuneleri üzerinde yapmıştır. Bu edinilen sonuçları diğer bölgelere uygulamak muhakkak sakıncalı olacaktır. Fakat Engelhardt (1960) yaptığı yeni ayrıntılı incelemelerle Hedberg'in buluşlarını destekleyici neticeler almıştır.

Sıkışma olayının cereyanı esnasında petansiyel bir petrol ana kayasında neler olduğunu göstermeye çalışalım. Sözü edilen petrol kümeleri en erken sıkışmanın etkisiyle kil minerallerinin doğrudan doğruya temasa gelmesi ve mekanik deformasyonun başlanmasıyla oluşabilir. Bu olaydan önce büyük bir olasılıkla petrolümsü elemanların göçü mümkün görülmemektedir. Gussov (1955)un görüşüne göre, birincil göç sıkışmanın başlangıcından itibaren yaklaşık olarak 500 m derinlikte başlayabilir. Tabiki eğer ortamda kafi miktarda göç edebilecek petrol oluşabilmişse. Eğer derinlik-gözeneklilik eğrisi (Şekil 75) yataylaşmış ve gözeneklilik alanı % 5 ten % 0'a yaklaşmışsa birincil göçün sonu olarak alınabilir.

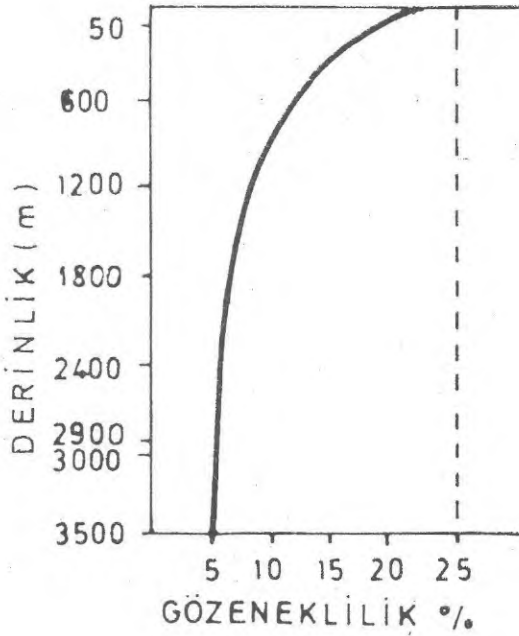


Şekil 75. Killi sedimanların derinlik-Gözeneklilik eğrisi (Hedberg, 1936)

Bu hususta alt derinlik sınırının verilmesi zorunludur. Çünkü çeşitli sedimantasyon havzaları değişik koşulları yansıtırlar. Fakat bu sınırın 3000 m den 6000 m ye kadar olması muhtemeldir. Muhakkak gaz göçü için başka ölçüler geçerlidir.

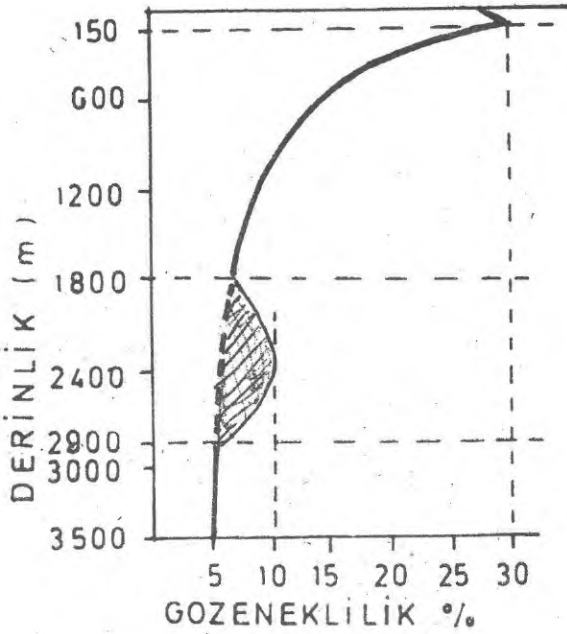
Weller (1959), killi sedimanların sıkışma sonucu gözenekliliklerinin kaybolma derinliklerindeki ısının yaklaşık 200°C olabileceğini tahmin eder. Porphyrin oluşumu nedeniyle, petrol oluşumu için maksimum ısı değerinin yaklaşık 200°C olarak kabul edilmiş olmasının tesadüfi olmadığı açıktır.

Derinlik ve örtü tabakalarının basıncı ile etken gözeneklilik ve geçirgenlik ilişkileri basit olmamakla beraber anlaşılmiyacak kadar da karmaşık değildir. Genel olarak kabul edilen olay gittikçe artan basınç veya derinlik ile birlikte daha ilk etapta ana kayanın etken gözenekliliğinin ve bununla beraber geçirgenliğinin azaldığıdır (Şekil 76). Başlangıçta % 25 gözeneklilik içeren bir şeyil petrol ana kayası düşünürsek



Şekil 76 İdeal sıkışma eğrisi

(Şekil 77) basınç katman yüzeyindeki örtü kalınlığının artması ile yükselir. Başlangıçtaki bu yükselmeden sonra ilk anda kil dokusu üzerindeki ağırlık hâlâ ilk andaki ağırlıktır. Çünkü gözenekler daha % 25 civarındadır. Ek ağırlık kil gözeneklerindeki su tarafından ek hidrostatik basınç olarak karşılanacaktır. Gözenek sularının karşıladığı basınç gözenekler arasındaki kılcağ aralıkların genişlemesine ve yeni bağlantılara neden



Şekil 77. Derinlik-Etken Gözeneklilik ilişkileri

olacaktır. Bu yolla etkin gözeneklilikte ve geçirgenlikte ani bir artış görülecektir. Şekilde görülebileceği gibi bu durum yaklaşık 150 m derinliklerde % 5 kadar bir gözeneklilik artışı şeklinde ortaya çıkacaktır.

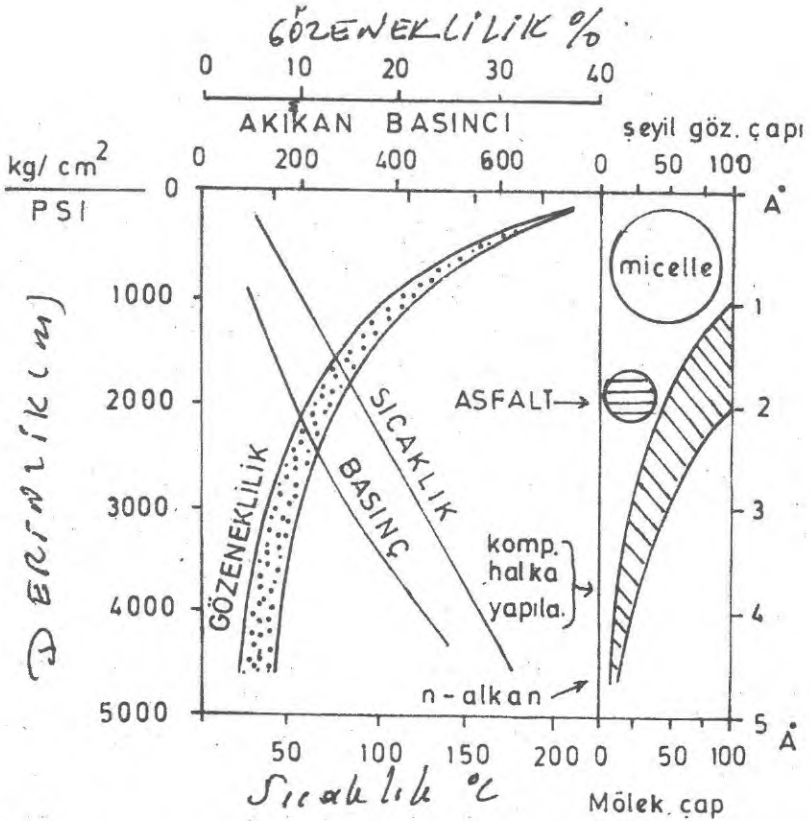
Bu sınırın altında ise basınç, gözenek suları tarafından değil kil dokusu tarafından engellenmeye çalışılacaktır. Çünkü gözeneklerdeki sular, yükün oturduğu alandan daha düşük potansiyel alanlara doğru hareket ederek kili terk edeceklerdir. Böylece kil dokusunun sıkışması ve ısı sebebiyle gözenekler gittikçe kapanacak ve gözeneklilik azalması devam ederek sonunda % 4-5 kadar bir gözeneklilik içeren arjilite dönüşecektir.

Eğer ortamda hızlı bir gömülme söz konusu ise zamanın yetersizliği nedeniyle yeterli su kaybından söz edilemeyecektir. Örtü basıncı tamamıyla gözenek suyu basıncı olarak yansıyacak ve gözeneklilikte önemli bir düşüş görülmiyecektir.

Bundan başka belli bir derinliğe erişildiğinde (Yaklaşık 1800 m.) ortamda Montmorillonit tipi kil mineralleri mevcutsa, montmorillonit'in illite dönüşmesi gözeneklilikte, geçirimlilikte ve sıvı basıncında ani

artışlara sebep olacaktır. Montmorilonitin illite dönüşmesinde kil yüzeyinde tutunmuş olan bağıl su kurtulacak ve serbest gözenek suyu özelliğini kazanacaktır. Bu değişim kil parçacıklarının tane boyunu düşürerek etkin gözeneklilikte, geçirimsilikte ve serbest gözenek suyu miktarında artışa sebep olacaktır. Bu olay yaklaşık 2900-3000 m derinliklere kadar devam ederek bu derinliğin altında ise serbest su, gözenekleri yeniden terk edecek basıncın tekrar doku tarafından karşılanmasına neden olarak gözenekliliğin azalması sonucunu sağlayacaktır.

Şekil 78, şeyil gözenekliliği, akışkan basıncı, derinlik, gözeneklilik, ısı, basınç, şeyil gözenek çapı ve moleküler çap arasındaki ilişkileri göstermektedir (Tissot ve Welte, 1978; Junckten ve Karweil, 1963; Noguemo, 1965; SeEVERS, 1969; HelING, 1970 den alınmıştır).



Şekil 78. Şeyil tipi sedimanların artan gömülme derinliğiyle değişik fiziksel parametrelerin ilişkileri (Junckten ve Karweil-1963, Naguma, 1965, SeEVERS, 1969; HelING, 1970)

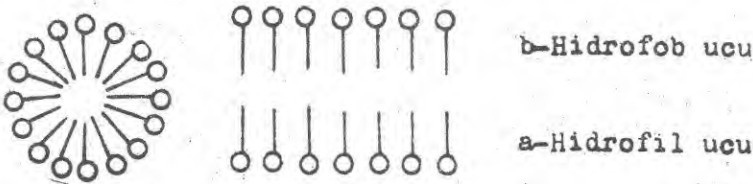
Petrolün birincil göçü için en önemli neden olarak sıkışma gösterilmiştir. Bu sıkışma sedimantasyon havzasının devamlı olarak çökmesi ve suyun killerden devamlı ayrılması suretiyle gerçekleşir. Sıkışma zamanı aralığında petrol, petrol kütelerinden suyla doldurulmuş gözeneklere verilebilir. Eğer çözülmiyen organik materyalin kılcal basıncı ve kendi absorpsiyonu yenilebilirse havzanın çökmesi esnasında gözenek çapının devamlı azalacağı, zamanla artan derinlik ve ısıyla da kerojenden yeni hidrokarbonların oluşacağı göz önünde bulundurulacaktır.

Birincil göçün özelliği havza oluşumu ile sıkı sıkıya bağlı olup jeolojik sürelerde gerçekleşen olaylardır. Petrol ana kayasının gözeneklerindeki göçün mekanizması üzerindeki görüşler birbirinden farklıdır. Vasoeviç (1960) gaz differansiyasyonu tarzında olduğu düşüncesindedir. Bu görüşe göre petrol göç etmeden önce gaz içinde çözülmesi gerekmektedir. Effektiv birincil bir göçün olabilmesi için minimum derinliğin 1200-2600 m olması gerektiğini vurgular. Sokolov (1964) mümkün olan iki görüşü benimsemektedir.

1. Sıvı hidrokarbonlar gaz içinde çözülür ve gaz fazında düşük basınçlı bölgelere taşınır.

2. Gaz şekilli ve sıvı hidrokarbonlar ve diğer komponentler suda çözülür ve bu şekilde taşınır.

Petrol komponentlarının formasyon suyu içinde çözülmesi, yalnız Baker (1960, 1962) tarafından kabul edilen görüş ile açıklanabilmektedir. Bu görüşe göre, organik asitlerin tuzları ve diğer komponentler formasyon suyu içinde Micellen oluşturabilirler. Micellen'ler suda koloidal partiküller olarak dağılmışlardır (Şekil 79)



Şekil 79. Micellen tipleri (Baker, 1962)

Micellen'ler içinde ve yanında hidrokarbonlar zenginleştirilebilir ve bu şekilde formasyon suyu içindeki sınırlı çözünürlükleri oldukça yükseltilebilir. Böylece çözülmüş hidrokarbonlar, sıkışma sonucu suyunu kaybetmesi suretiyle göçebilirler ve gözenekli hazne kayalara geçer-

ler. Bu görüşteki güçlükler, çözülmüş petrolün tekrar nasıl ayrışabileceğidir. Weller (1959) e göre bu muhtemelen, ana kayadan hazne kayaya doğru tuz konsantrasyonunun artması suretiyle koloidal çözelti tuzunu kaybeder ve böylece petrol damlacıklarının ayrılması gerçekleşebilir. Petrollerdeki hidrokarbon gruplarının dağılımı (parafin, naften, aromatlar), buna göre bunların spesifik çözünürlükleri taşınmak için mevcut olan micellen tarzlarına uygunluk gösterebilir.

Baker (1962) de bunu deneysel olarak oldukça inandırıcı bir şekilde kanıtlamıştır. Hubson ve diğerleri de çözülmüş petrolün ayrılması için diğer bir imkan göstermektedirler. Bunların Porphyrin incelemelerine göre hazne kayalarda meydana gelen dekarboksilasyon olaylarıyla bunu mümkün görmektedirler. Böylece Micellen şeklindeki komponentler hidrofil gruplarını kaybedebilir ve Micellen'ler çözülür. Moleküllerin hidrofob artıkları ve micellen içinde taşınan hidrokarbonlar petrol olarak ayrılmak mecburiyetindedirler.

Buna karşın Gussov (1954) ve Hubson (1954) damlacık tarzında taşınmanın mümkün olabileceğinden söz etmektedirler. Micellen'lerin ölçüleri Baker (1962) e göre 0.5-600 μ arasında yayılmaktadır. Petrol damlacıkları ve gaz kabarcıkları muhakkak bu alanın üzerinde bulunmaktadır. Organik materyalden oluşan petrol damlacıkları için maksimum bir büyüklük verilmesi gerekli olmasına rağmen bu çok zordur. Potansiyel petrol ana kayalarında bunların büyüklükleri 1-1000 μ arasında bulunmaktadır. Ana kayadaki gözeneklerin çapları hakkında ise deneysel neticeler bulunmamaktadır. Büyük bir tahmin olarak, büyük derinliklerde bulunan formasyonlar için 0.1-1.0 μ değerleri verilebilir. Bu veriler tabiki yalnız yönlenme büyüklükleri olarak anlaşılmalıdır.

Bu görüşlere göre, gözenek geometrisi ve gözeneklerin nemlenme özellikleriyle micellen tarzındaki bir göçün damlacık tarzındaki bir göçe nazaran daha kolay oluşabilmesi ve esashi bir anlamı olmalıdır.

Petrol ana kayasının gelişimi süresindeki değişiklikleri düşünür ve verilen göç mekanizmalarını karşılaştırırsak şöyle bir soru ortaya çıkmaktadır. Göçün şekli ve ölçüsü başlangıçtan sona kadar aynıdır?

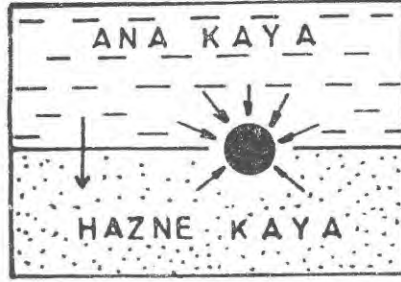
Petrol göçünde sözü edilen üç ihtimalin; petrolün gaz içinde çözülmesi (Sokolov, Vassoevic), petrol ve gazın suda çözülmesi (Baker ve Sokolov) ve damlacık şeklindeki göç (Gussov ve Hubson) çeşitli ve değişken koşullara bağlanmıştır. Petrolün gaz içinde çözülmesi esas olarak basınç ve ısı yükselmeleriyle, micellen oluşturan komponentlerin suda çözül-

mesi ve damlacık şeklindeki petrol göçü, gözenegin geometrisi ve nemliliğiyle bağımlıdır. Isı ve basınç artan örtü kalınlığıyla yükselir. Aynı zamanda petrol oluşumu da ilerler ve relativ olarak başlangıca göre daha çok düşük moleküllü hidrokarbonlar meydana gelir (Şekil 78). Isı ve basıncın yükselmesi ve de düşük moleküler komponentlerin varlığı gaz fazında bir eriyiği korur. Birincil göçün bu şekli, bu nedenle git-tikçe artan derinlikle büyük bir rol oynayacaktır.

Bir hydrofob ve hydrofil ucu olan moleküller micellen oluşturmaya temayül gösterirler. İlerleyen petrol oluşumu ile ilgili gruplar artan ölçülerde kaybolurlar. Bu nedenle petrol ana kayasının derinliğine bağlı olarak micellen oluşumu temayülü azalmalıdır.

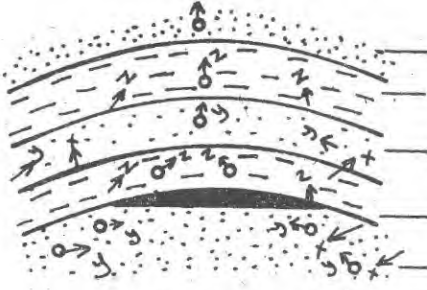
Damlacık tarzında göç için en büyük engel sınırlı ve kuvvetli değişen gözenek çapları olmalıdır. Çünkü artan sıkışma ile bunlar daralır, bu nedenle de büyük derinliklerde bu göç tarzının geriye dönüşü beklenmelidir. Diğer taraftan sıkışma ve petrolü petrol kümelerinden sıkıştırarak harekete geçiren kuvvet mevcuttur. Burada bir soru akla gelebilir. Bu her iki faktörün karşılıklı etkilerini ortadan kaldırıp kaldırmadığı ve ana kaya içindeki damlacık tarzındaki göçün genelde bir anlamının olup olmadığı gibi. Micellen tarzındaki bir göç için dolaylı kanıtlar mevcuttur. Örneğin; petrolde hidrokarbonların dağılımı ve Baker'in deneyleri, Petrolün bir gaz fazında çözülmesi, ısı ve basınç ilişkileri nedeniyle büyük derinliklerde büyük bir olasıdır. Bundan başka kondanse petrolün varlığı böyle olayların olabileceğini kanıtlamaktadır. Buna karşın ana kayaç içinde damlacık tarzındaki bir göç için emareler eksiktir. O halde göç mekanizmasının şekli ve ölçüsü ana kayanın bulunduğu gelişim safhasına bağlı olmalı ve zaman akışıyla da değişken olmalıdır. Böylece göçün belli bir sıralanması ortaya çıkar.

Ana kaya içinden dışarı atılacak akışkanlar hangi yolu izleyeceklerdir? Sıkışmakta olan bir şeyil içinde bir potansiyel gradyan ortaya çıkacaktır. Şeyil içindeki akışkanlar bu gradyanı izleyerek yüksek potansiyelden alçak potansiyele doğru hareket edeceklerdir. Şekil 80'de sıkışan şeyle göre daha düşük potansiyel değerleri içeren alanlar akışkanların hareket ederek yerleşebilecekleri ortamlardır. Bu duruma göre akışkanlar potansiyel değerlere bağlı olarak aşağı veya yukarı hareket ederek ana kayayı terk edeceklerdir. Eğer akışkan yukarı hareket ediyorsa, buna kilcal basınç ve yüzdürme kuvvetleri yardımcı olacaklardır. Buna karşı akışkanın aşağı doğru hareket etmesi durumunda harekete yalnız kilcal basınç yardımcı olabilecektir. İnce dokulu kayaçlarda kilcal basınç değerleri kaba dokulu kayaçlara oranla daha yüksektir. Bu



Şekil 80. Aşağı Doğru göç

nedenle petrol kümeciklerinin ana kayadan hazne kayaya geçişleri itici kuvvetin varlığıyla kolaylaşacaktır. Göçün yönü, kum içindeki petrol üzerinde şeyil üzerindeki petrole karşıt kılcal basınçtan daha yüksek bir basınç değeri olmadığı sürece ters yönde olmayacaktır. Eğer kum ve şeyil tek bir faz akışkan ile doldurulmuş ise kılcal basınç farkı oluşamayacağından akışkanın hareketi her iki yönde aynı derecede gerçekleşebilir (Şekil 81). Şekil 81'de üç hazne, bir ana kaya ve bir örtü kayası mevcuttur. Başlangıçta anormal bir görünüm arzeden bu durum pek karmaşık değildir. Yüksek potansiyel içeren şeyil ana kayasından alttaki hazne kayaya petrol gelmekte ve bu petrol hazne kaya içinde yüksek bir yere kadar hareket ederek daha sonra tekrar ana kaya içine geçmektedir. Bu suretle de yukarıya doğru devamlı bir göç oluşmaktadır. Aslında alçak potansiyelli bir ortamdan yüksek potansiyelli bir ortama göç gerçekleşmeyeceğinden bu olay imkan dışı gibi görülmektedir. Burda bu oklarla gösterilen göçün eş zamanlı olmadığını ve bunların hareket vektörleri olduğunu belirtmek gerekir. X-ışaretleli vektörler, ana kayadan hazne kayaya doğru olan aşağı ve yukarı göç yönlerini gösteren ve sıkışma sonuna kadar etkin olan vektörlerdir. Sıkışmanın devam ettiği alttaki ve üstteki iki hazne kayaya petrol geldiği sürece devamlı bir faz oluşturabildiği andan itibaren Y-ışaretleli vektörler etkin olmağa başlayacak ve petrol hazne kayalar içerisinde yüksek potansiyelden alçak potansiyele doğru hareket edecektir. Böylece hazne kaya içinde gerçekleşen potansiyel gradyan nedeniyle her iki yönden antiklinalin ayrılmasının meydana gelmiş olmasını göstermektedir. Philipp (1963) kuzey Almanya'da, örtü kaya gözenekliliği ile hazne kayanın gaz miktarı arasında bir bağıntının mevcut olduğunu gösterebilmiştir. Kapan bileşenin böyle değişimleri yanında, büyük derinliklere gömülmede değişikliklere neden olabilir.



Şekil 81. Petrol hareketi ve zaman ilişkileri

Böylece petroler yüksek ısı seviyelerine gömüleceğinden bu koşullara uygun olarak hareket edeceklerdir. Öncelikle, asfaltit şeklindeki ve yüksek moleküllü komponentler ihtiva eden ağır petroler ısı yükselmelerine karşı daha hassastırlar. Kerojende olduğu gibi fonksiyonel grupların ayrılması ve küçük parçalara bölünmesini tahmin etmeliyiz, çünkü küçük moleküller termodinamik olarak duyarlıdır.

Değişiklikler, derinliğe bağlı olan sıcaklığa göre ya daha hızlı veya daha yavaş olarak meydana geleceklerdir. Silverman ve Epstein (1958) in gözlemlerine göre, petrollerdeki C^{13}/C^{12} ye oranının azalması, artan yaşlılık ve aynı şekilde olgunlaşma olayı sonucu meydana gelmesi ihtimal görülmektedir.

Hidrostatik koşullarda petrol göçü, hazne katmanını içinde eğim yukarı yönde gerçekleştiği için bu koşullardaki göçme yolları daha kolay belirlenebilir. Hidrodinamik koşullarda ise yeraltı suyu akışının yönü petrolün hareketini kontrol ederek ikincil göçmenin genel yönünü tayin eder. Sonuç olarak paleo-Hidrodinamik gradyanların belirlenmesiyle ikincil göçme yolları ve yönünün bulunmasında önemli ip uçları elde edilebilir (Tissot ve Welte, 1978).

Robert (1976) klastik sedimanlarda yatay ve düşey yöndeki göç ihtimalleri üzerinde durmaktadır.

Yukarı yönde hareket eden akışkanlardaki petrol, ana kayanın komşusu ilk kumtaşlarında birikecektir. Çünkü bir sonraki çamurtaşı veya şeyil katmanının çok küçük gözenekli olması nedeniyle akışkanın bu katmanın gözeneklerine girmesi zordur ve bu gözeneklerin suyla dolu olması olayın gerçekleşmesine yardımcı olacaktır. Bu ince dokulu katmanların partiküllerinde absorbe edilen su aynı zamanda yüzey gerilimi nedeniyle boşluklarda tutunur. Eğer havza çökelleri kırıntılı

ve ince dokulu katmanların ardalanmasından oluşmuşsa ince dokulu katmanların yukarıda belirtilen özellikleri nedeniyle yukarıya doğru olan devamlı bir göçe engel teşkil ederler.

Kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmaları bir havzada kumtaşı seviyesinde biriken akışkanların üzerindeki çamurtaşlarına geçmesi imkansızdır. Çünkü ince taneli katmanlarda sıkışmasıyla gerçekleşen basınç kırıntılı katmanlardan daha yüksektir (Evans, 1975).

Dikine göç ile ilgili diğer bir hususta faylar ve çatlaklardır. Derinlerde, organik olgunluğa erişmiş potansiyel petrol ana kayalarından fay ve çatlak zonlarından üst yüzeylere doğru bir göç meydana gelebilir. O halde faylar ve çatlaklar büyük göç bağlantılarıdır. Eğer fay zonları ince taneli fay molozu içerirlerse bunlar petrol göçü için bir engel teşkil ederler. Yatay göçe en büyük engel, yatay yönde litofasiyes değişikliklerinin olmasıdır. Bu durumda stratigrafi kapanlarının oluşumu sağlanır.

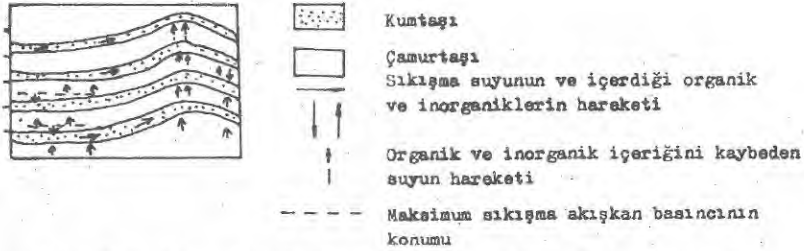
Tabakalanma ara yüzeyleri boyunca yatay yönde göç daha iyi gerçekleşir. Tabakalanma ara yüzeyleri çökme değişikliklerini yansıtmaları nedeniyle daha zayıf zonlardır. Ayrıca partiküllerin tabakalanma yüzeyine paralel sıralanmaları gözeneklilik ve geçirgenlik derecelerini artırır ve akışkanların akmalarını kolaylaştırır.

Eğer kumtaşı ve çamurtaşı kaynaklarından herhangi birinin yanal basınç gradyanları yok olursa esas akışkan göçü yukarı doğru olacaktır. Çamurtaşının çok düşük geçirgenlik özelliğine sahip olması nedeniyle içinde dikine akışkan göçü çok az olup ancak mevcut küçük çatlaklar göçe yardımcı olurlar. Sözü edilen akışkan, sıkışma akışkanı olup genellikle su ve çok az oranda inorganik ve organik bileşenleri kapsar. Eğer kumtaşları veya başka taşıyıcı katmanlar bulunmazsa sıvı akışkanların göçü ve dolayısıyla hidrokarbon birikimi gerçekleşmez. Şayet, kumtaşları çamurtaşlarıyla ardalanmalı veya çamurtaşlarının üzerinde ise veya komşu bir yapıda eğim yukarı iseler, sıvı akışkanlarının hareketi ve dolayısıyla da hidrokarbon birikimi gerçekleşebilir.

Petrol, özel koşullar dışında genellikle eğim yukarıya doğru geçer ve kapanlanır. Bu özel koşullara örnek olarak, havza derinliklerinde yüksek tuzluluğa neden olan evaporitleri ve organik maddece zengin sık tabakalanmalı siltli ana kayalarla hazne kaya tipleri verilebilir.

Büyük antiklinallerde göç hem aşağı hem de yukarı yönlü olarak gerçekleşebilir (Şekil 82). Şekilde kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmalı bir

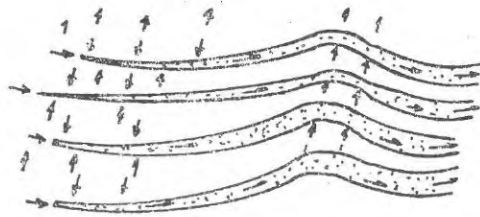
istifte birincil ve ikincil göç durumları görülür. Çamurtaşı birimleri, düşük geçirgenlikleri ve kil minerallerinin diyajenezleri nedeniyle yüksek akışkan basıncına sahiptirler. Maksimum akışkan basıncı çamurtaşı birimlerinin orta kısımlarının biraz daha altında yer alır. Bu nedenle çamurtaşı içinde mevcut olan sıvı akışkanlar yüksek basınçtan alçak basınca doğru yani aşağı ve yukarı hareket ederler. Böylece akışkanlar büyük antiklinallerin üst kanatlarında antiklinal apeksinin en düşük basınç olan bölümlerine doğru hareket edeceklerdir. Antiklinal üzerindeki örtü kayasının inceliği, gerilme ile oluşan çatlaklar veya örtü çamurtaşının geçirgenliğinin artması suyun yukarı doğru hareketini sağlayabilir. Böylece kaçan su çözünmüş bileşenlerini geride kumtaşlarında bırakır (White, 1965).



Şekil 82. Ardalanmış istiflerde suyun büyük antiklinal yapılarda göç yolları

Göç işlemi süresince kumlu seviyede kalan suyun tuzluluğu artar. Bu da petrolün birikimi için oldukça önemli bir nedendir. Basen kenarlarındaki büyük antiklinallerde ise göç biraz daha değişik görülmektedir.

Kumtaşı-çamurtaşı ardalanmasından oluşan antiklinaller, tektonik olarak aktif olan basen kanadında kısıtlanmışlardır (Şekil 83). Şekilde görüldüğü gibi kalın çamurtaşı istifleri havza kenarına doğru inceler, kumtaşı birimleri ise havza içlerine doğru incelerek kaybolurlar. Buradaki göçün mekanizması, çamurtaşlarından hem aşağı hem de yukarı yönlü bir akışkan hareketi oluşturur. Bu hareketi basen kenarı antiklinallerde kumtaşı birimleri boyunca eğim yukarı göç izler. Antiklinalin kanadı ve apeksinde; yüksek tuzluluk, yüksek Ca birikimi ve düşük PH gelişimi, basen-antiklimalleri modellerindeki nedenlerle aynıdır. Bununla beraber sıkışım akışkanlarının bir kısmı antiklinali dikine zorlayarak basen kenarına kaçabilir. Kalın örtünün derin basen ve basen kenarı arasındaki basınç farklılığı, antiklinal engelini yenmeğe yeterli olabilir.



Şekil 83. Ardalanmış istifler sunan havza kenarı geniş antiklinallerde göç yolları

Petrolün ikincil göçü ve birikimine etken olan faktörler aşağıdadır.

- Sürüklenen parçacıklar
- Kılcal basınç-yer değiştirme basıncı
- Yüzme
- Erimiş gazların etkileri
- Birikme
- Eğik petrol ve su dokanağı
- Stratigrafi setleri
- Düşey göçme
- Birikme zonları

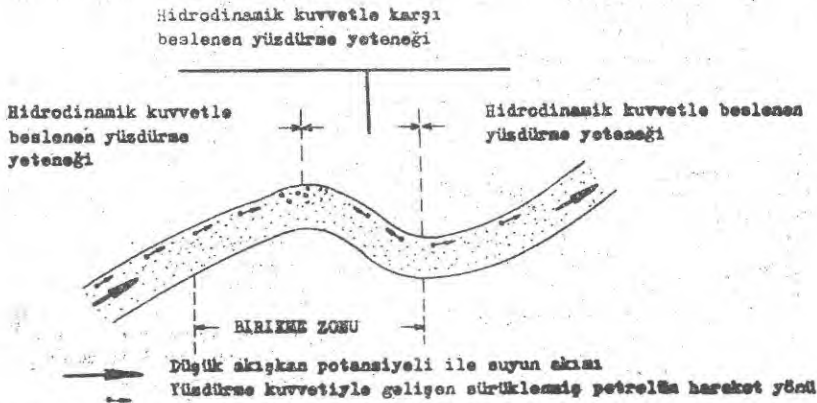
a) Sürüklenen parçacıklar: Bir potansiyel hazne kaya olan akiferdeki su, bir zamanlar hareket etmiştir ve çoğu hallerde bugünde hareket halindedir. Örtü, yapı ve şekil değişikliği, aşınma ve sürekli jeokimyasal değişiklikler nedeniyle suyun yönü ve hızı birkaç kez değişmiştir. Akışkanların hareketi, gözenekli ve geçirimli kayalar, yarıhımlar, diskordanslar, kırık sistemleri gibi geçirimsizlik zonlarını izlemiştir. Hareket halindeki suyla beraber petrol ve petrol hidrokarbonları, kaya nitelikleri veya karışımdaki basınç, sıcaklık ve hacim değişimleriyle oluşan bir tıkanıklığa kadar ilerler.

b) Kılcal basınç-Yer değiştirme basıncı: Suyla ıslak bir haznede bulunan petrol taneciklerinin göçmesi için gerekli ana koşul, petrol ile su ara yüzeyindeki kılcal basıncın, gözenekler arasındaki kılcal boşlukların yer değiştirme basıncından büyük olmasıdır.

Kılcal basınç; yüzme, basınç gradyanı ve petrol fazının sürekliliğine bağlıdır. Bu kuvvetler nedeniyle kılcal basınç, yer değiştirme basıncını

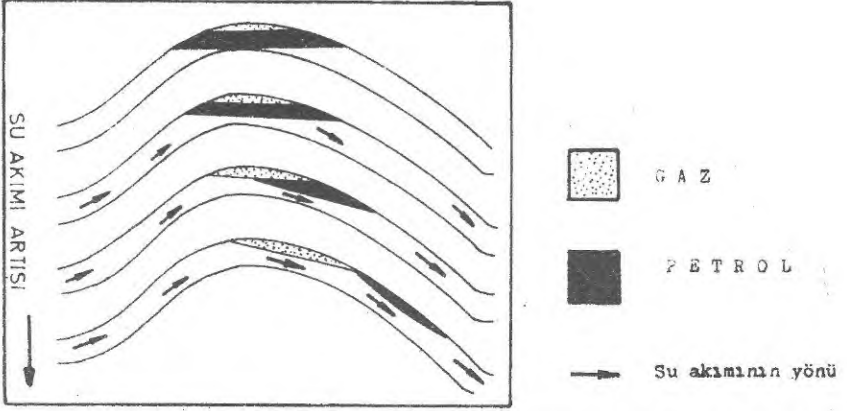
yenebildiği hallerde, petrol ve su kılcal boşluklardan geçerek harekete başlar.

c) Yüzme: Gerek sıvılar ve gerekse katılar bir akışkana karışıklarında yer değiştirdiği akışkanın ağırlığına eşit bir kuvvetle yüzdürülür. Petrol, gaz ve su kapsayan bir haznede gaz en üstte, petrol ortada su ise en altta olmak üzere yoğunluklarına göre bir dizilme gösterirler. Petrol ve gaz lekeleri harekete geçince yolda dağılmış petrol ve gaz zerrelerini bünyesine katar. Böylece yüzme yeteneği çoğalır. Akan suyla sürüklenen petrol ve gaz parçacıkları bir antiklinal alanda doruğa varduktan sonra hareket eden suyla daha yukarılara yüzebilmeleri son bulmuştur. Böylece petrol ve gaz yapının en yükseğinde kapanlanır (Şekil 84). Şekilde görülebileceği gibi, bir yapı kapandı içinde hareket eden su peşinde getirdiği petrol ve gazı en düşük potansiyel enerjili yerde veya haznekayanın en yükseğinde bırakır. Eğer yapı eninde hidrodinamik basıncın farkı büyükse, petrol ve su dokanağı akma yönünde eğik olacak veya petrolün kapandan kurtulup kaçacağı büyüklükte bir açı gelişecektir (Şekil 85). Şekilde artan su akımıyla antiklinal bir yapıda petrol ve gazın itilmesi ve ayrılmasını görmekteyiz (Hubson ve Tiratsoo, 1975).



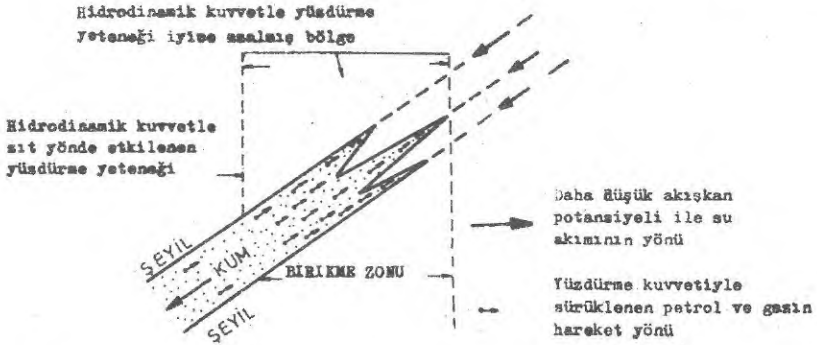
Şekil 84. Hidrodinamik kuvvetin petrol göçmesiyle birikmesi üzerindeki etkisini gösteren bir antiklinaldeki kapanlanma mekanizması

Petrol ve gaz yüzme kabiliyetiyle ince taneli kayaların yer değiştirme basıncını artık yenemeyeceği bir yere kadar göçmeye devam ederler. Eğer su eğim aşağıya hareket ederse set etkisi çoğalır. Bu durumda yüzme kuvvetinin etkisi, hidrodinamik kuvvetle azalır ve petrol ile gaz



Şekil 85. Bir Antiklinal kapanda su akımının artan etkisiyle petrol ve gazın itilmesi ve ayrılması (Hubson ve Tiratsoo, 1975)

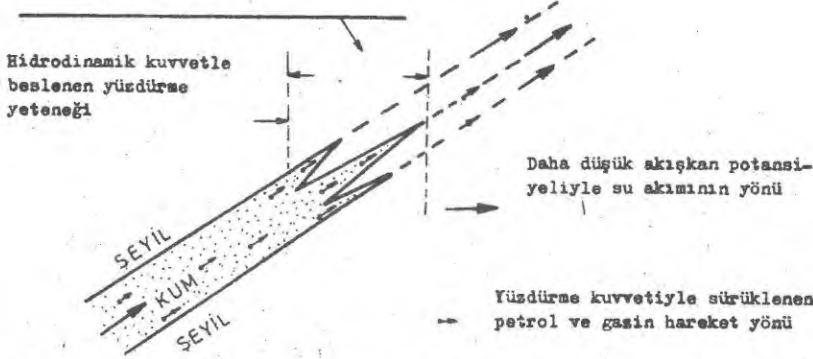
set zonunun altında kapanır (Şekil 86). Eğer su eğim yukarı hareket ederse petrolün bileşik hidrodinamik kuvvetiyle yüzmeye yeteneği, petrolle gazın gittikçe daha düşük gözenekli alanlara girmesine neden olur. Birçok durumlarda da set zonundan geçerek gider (Şekil 87). Bu durumda hidrodinamik kuvvet, yüzdürme kuvvetinin etkisiyle aynı yödedir ve ona katılır. Bu nedenle set zonunda kapanma ihtimali düşer.



Şekil 86. Eğim aşağı yönelmiş olan yüksek yer değiştirme basıncı ile azalan geçirimsizlikten oluşmuş bir set zonundan geçen su akımının etkisi. Bu durumda yüzdürme kuvvetinin etkisi, hidrodinamik kuvvetle azalır ve petrolle gaz set altında kapanırlar.

d) Erimiş gazların etkisi: Bütün petrol birikintilerindeki petrollerde erimiş halde ve değişik miktarlarda doğal gaz mevcuttur. Doğal gaz, petrol ve suya oranla son derece düşük viskoziteye ve yüksek yüz-

Yüzdürme kuvvetinin hidrodinamik kuvvetle arttığı alan



Şekil 87. Eğim yukarı yönelmiş olan ve oldukça yüksek yer değiştirme basınçlı fakat düşük geçirimsizlik zonundaki setten geçen su akımının etkisi. Bu durumda hidrodinamik kuvvet yüzdürme kuvvetinin etkisiyle aynı yöndedir ve ona katılır. Böylece petrol set zonunun daha küçük gözeneklere sokulabilir. Bu nedenle set zonunun kapanılma özelliği azalır.

dürme yeteneğine sahiptir. Basınçlanan gazın genişlemesi petrolü hazne kayadan kuyuya yöneltir. Gazın bu özellikleri nedeniyle petrolün hareketini kolaylaştırdığı yaygın bir kanıdır. Hareketteki petrolün gaz karcıkları çevresinde zar halinde taşındığına inanılmaktadır.

e) Birikme: Dağınık halden başlayarak petrolle gazın ekonomik miktarlarda hazne kayada toplanması birikinti gelişimini sağlar. Birikintinin boyutu, mevcut basınç, sıcaklık, akışkan potansiyeli gradyanı, petrol ve suyun bağıl yoğunlukları, kayaların eğimi, geçirgenlik ve gözeneklilik değişimleri koşullarıyla belirlenir.

f) Stratigrafi setleri: Petrol göçünde en önemli bir jeoloji olaydır. Bunlar ya esas ya da yan kapanılma etkeni olarak bulunurlar. Fasiye değişimi, yontum ve aşma, çimentolanma, erime ve kırılmalar petrol birikintisi yapan olağan geçirimsizlik değişimi faktörleridir.

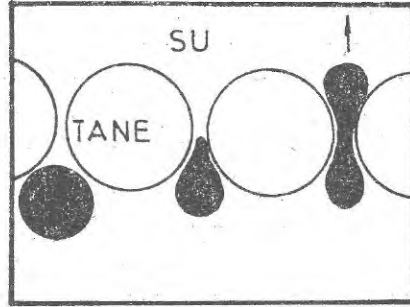
Petrol ve gazın taşıyıcı ve hazne kayalarda hareketi ve daha sonraki birikintilerin oluşması üç parametre tarafından kontrol edilir. Bunlar; petrol ve gazın suyla doldurulmuş gözenekli kayalarda yüzerek yükselmesi, toplam akımı belirleyen kapillar basınç ve önemli değişken etkisi ve hidrodinamik akışkan akımıdır.

Hidrostatik koşullar altında ikncil göç için yalnız hareket ettirici kuvvet yüzdürmedir. Eğer yer altında su akıntısı varsa hidrodinamik koşullar petrol ve gazın yüzerek yükselmesi ve bu su akıntısı tarafın-

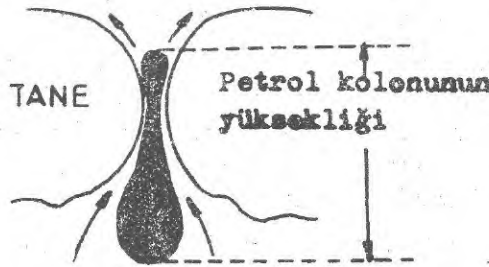
dan yönlendirilmesi mümkündür. Dar kayaç gözeneklerinde kapillar basınçlar hidrokarbon birikmesi için bir nedendir.

Petrol kürecikleri ve gaz kabarcıkları kayaç gözeneklerinde sıkışmaya uğramadan önce verilen gözenek çaplarından daha büyüktürler. Kürecik veya kabarcıkların bu gözeneklerde sıkışmasına kapillar basınç gerekli bir kuvvettir. Herhangi bir şekilde, kapillar basınç çok yüksek veya tersine kaya gözenekleri çok darsa petrol ve gazın göçmesi durdurulur. Bir hazne kayada petrolün durdurulması, hareket ettiren kuvvetler arasında bir denge safhasını gösterir (Yüzdürme veya suyun akması gibi).

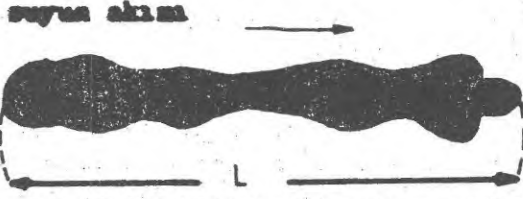
İkincil göçün sonu ve petrol veya gaz birikintisinin oluşumundaki son safha, bir kapanın mümkün en yüksek bölümünde konsantrasyonu- dur. Şekil 88, 89, 90, 91'de yukarıdaki özelliklerle oluşan durumları yansıtmaktadır.



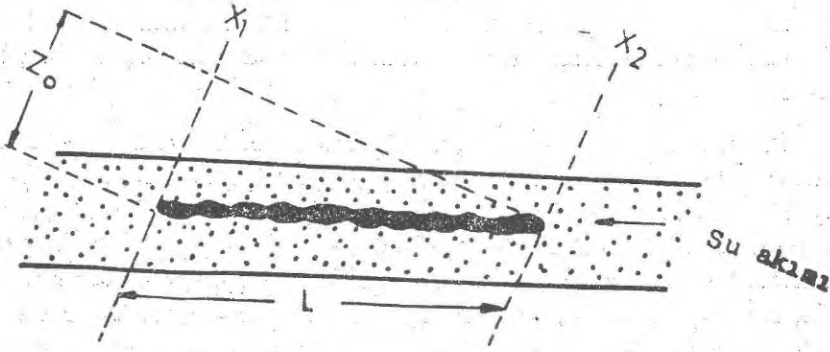
Şekil 88. Bir petrol küreciğinin gözenek boylarından sulu yeraltı ortamında taşınması. Petrol küreciğinin taneler arasında kılcal basıncın etkisiyle yukarı çıkışı, damlacığın alt ve üstünün eşit duruma gelişine kadar devam eder (Berg, 1975)



Şekil 89. Petrol küreciğinin bir gözenek boyundan sulu bir ortamda taşınması. Suyun yukarı doğru akmasına kapillar basıncın zıt etkisi yardımcı olur. (Berg, 1975)



Şekil 90. Hidrodinamik koşullarda petrolün uzanarak yanal taşınması. Hidrodinamik gradyan (m) ve petrol kolonunun uzunluğu (L) onun katman içindeki yatay konumunu tanımlar. (Hobson ve Triatsoo, 1975)



Şekil 91. Hidrodinamik koşullarda petrolün taşınması. Çizgisel petrolün alt ve üst uçlarındaki hidrostatik basınç farkı ($x_1 - x_2$), petrol kolonunun yüksekliği (Z_0) ve suyun akışı çizgisel petrolün hareketini sağlar (Berg, 1975)

ILIMLI GÖMÜLMÜŞ SEDİMANLARDA PETROL OLUŞUMU VE GÖÇÜ

Sedimentasyon havzasının devamlı çökmesi ve yeni sedimanter materyalin yığılmasıyla potansiyel ana kaya üzerine aşağıdaki kati gelişimler etkili olur. Artan gömülme derinliğiyle, bir taraftan sediman sıkışmasına ve bununla göçme olaylarına neden olacak örtü basıncı artar, diğer taraftan kayaç, organik materyalin değişmesi ve bununla petrol oluşmasını sağlayacak yüksek sıcaklık zonlarına gömülür. Çünkü petrol oluşumunun bu her iki olayı ve birincil göçü temelinde, sıcaklık gradyanı, gömülme ve sıkışma hızına göre birbirinden bağımsız olarak

kabul edilir. Petrol yataklarının oluşumunda bu olayların uyumlu (eş zamanlı) gelişmeleri büyük anlam taşır.

Artan derinlik ile yaşlı sedimanlarda yeni karbonlar oluşur. Yükselen ısıların etkisiyle sedimanlarda dağılmış olan organik materyalin ısıl parçalanması vukuu bulur. Kerojen ve çözülebilir organik materyalden, önce alçak ısılara uygun olarak en zayıf gruplar ayrılırlar. Örneğin; karboksil ve hidroksil grupları ısı ne kadar yükselir ve ne kadar uzun süreli etkili olursa o oranda daha çok böyle bileşenler çözülür. Bunların çözülmeleri büyük enerji kullanımına ihtiyaç gösterir. Örneğin; karbon zincirlerinin bölünmesi gibi. Böylece jeotermik gradyan bariz bir etki yapar. Birincil göçün başlangıcında hareket edebilecek yeterli miktarda petrolün oluşup oluşmaması büyük oranda jeotermik gradyana bağlıdır. Şimdiye kadar bu safhada henüz tesbit edilememiştir. Belki Ekstrakt /karbon oranlarının artan derinlikle sistemli bir şekilde incelenmesiyle böyle bir imkan doğabilir. Bu oranların kuvvetli bir yükselişi hareket edebilir petrolün varlığı için neden olarak değerlendirilebilir.

Potansiyel ana kaya içindeki kil minerallerinin artan sıkışma ile mekanik deformasyona uğramasıyla yaklaşık olarak birincil göç başlayabilir. Bu da 500-600 m. derinlerde meydana gelebilir. Bu derinlikte gerçek birincil göç beklenemez. Çünkü henüz daha yeterli petrol oluşmamıştır. İkinci durumda buna karşı yüksek sıcaklığa uygun olarak sıkışmanın etkisiyle göçe başlayabilecek büyük miktarda petrol oluşumudur. Bu durumda petrol oluşumu ve birincil göç fazı oldukça beraber yürümektedir. Birinci durumda ise petrol oluşumu daha geç gerçekleşmektedir.

JEOLOJİK İLİŞKİLERE BAĞLI OLARAK PETROL OLUŞUMU VE GÖÇÜ

Petrol oluşumu ve göçü başlangıcından sonuna kadar kaba bir düzenlemede çok uzun zaman aralıkları "10 milyonlarca yıl" devam eder. Söz konusu havzada tektonik olayların etkisiyle bu zaman süresince çeşitli yapılar oluşturulabilir ve tekrar yok olabilir. Ana kayanın gelişimi süresince verilmiş çeşitli petroler belirli zaman aralıklarında değişik hazne kayalarında kapanlanabilir. Bu kendi içinde devamlı gelişim kademeleri böylece münferit bölümlere ayırılır. Bundan başka petrol ana kayası tarafından verilen petrolün tamamının hiçbir şekilde petrol yataklarında toplanmadıklarında kabul edilebilir.