



REZERVUAR JEOLJİSİ



Dersi veren öğretim üyesi
PROF. DR. AYNUR BÜYÜKUTKU

REZERVUAR JEOLJİSİ

Rezervuar nedir?

Porozite nedir?

Porozite çeşitleri ve tanımlamaları

Porozite ölçümü nasıl yapılır?

Permeabilite nedir?

Permeabilite çeşitleri ve tanımlamaları?

Porozite permeabilite ve doku ilişkileri

Tane şekli

Yuvarlaklık

Küresellik

Tane boyu

Boylanma

İstiflenme

Paketlenme

Tane düzenlenimi



Permeabilite ölçümü nasıl yapılır?

Kapilarite nedir?

Kapiler basınç testleri ve ölçümü

Kapiler basınç testlerinin yorumu

PETROLÜN OLUŞUMU:

Petrol eski deniz diplerine çöken hayvan ve bitkilerin üzerine tabii olaylarla yer tabakalarının yığılması ve meydana gelen bu havasız ortamda uygun, ısı, basınç altında bakterilerin de yardımı ile teşekkül eder. Bundan milyonlarca yıl önce mevcut kıtaların büyük bir kısmı denizlerle kaplıydı.

Bugün denizlerde yaşayan bitkilerin o zaman yaşayan benzerleri, zaman zaman öldükçe tabaka-tabaka denizin çamurlu dibinde biriktiler ve bakterilerin etkisi ile çürümeye başladılar. Bir yandan da bunların üzeri tabaka tabaka çamur, kum, alüvyonla örtüldü.

İşte tortul kütleler böylece meydana geldi. Bu tabakaların altında kalan hayvan ve bitkiler zamanla yağ damlacıkları ve gaz kabarcıkları haline geldiler. Yine milyonlarca yıl sonra yer kabuğunun hareket etmesi, kıvrılarak yükselmesi ile deniz altındaki karalar yükselip kıtaları meydana getirdiler. İşte bu hareketler esnasında, basınç altında kalan petrol, boşluklu ve geçirgen (porous ve permeable) ortamlara doğru göç etti ve rezervuar dediğimiz bir yerde birikti.

Petrolün içinde olduğu taşlara, petrolün anataşı adı verilir. En iyi anataşlar olarak; killi-kalkerli (marn) taşlarla, kalkerler (kireçtaşı) bilinmektedir.

Petrol hiç bir zaman yer altında petrol havuzunda birikmez, toplanmaz veya birilerinin dediği gibi yer altında petrol denizi, petrol okyanusu yoktur.

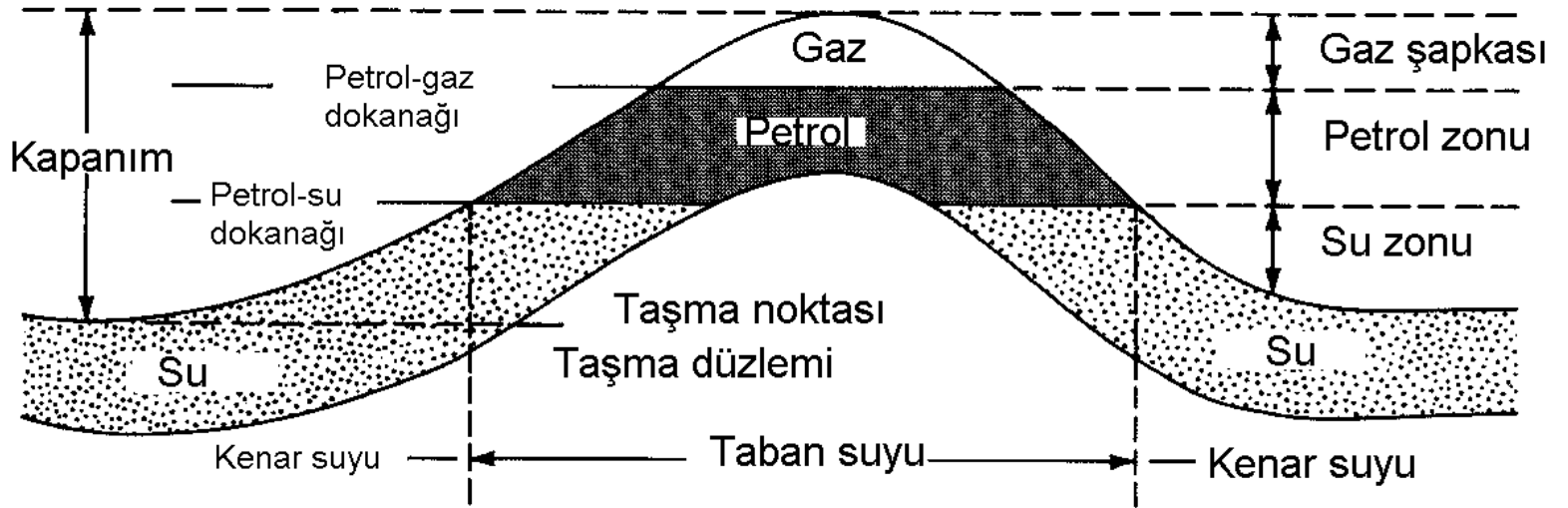
Yeraltında rezervuar dediğimiz kumtaşları veya kireçtaşları içerisinde bulunur.

REZERVUAR

- Petrolün içerisinde yerleşmiş olduğu kayaya hazne kaya ya da rezervuar denir. Prensip olarak gözenek, boşluk ve çatlak içeren her kaya rezervuar olabilir. Ancak pratikte rezervuar genellikle kumtaşı ve kireçtaşlarıdır.
- Bir rezervuarın petrol jeolojisi açısından en önemli özelliği porozite (gözeneklilik) ve permeabilitesi (geçirimsizlik) dir.

KAPAN

Petrolün göçerek son olarak yerleştiği yere **kapan** denir. En basit kapan aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi bir antiklinaldir (Şekil.1)



POROZİTE

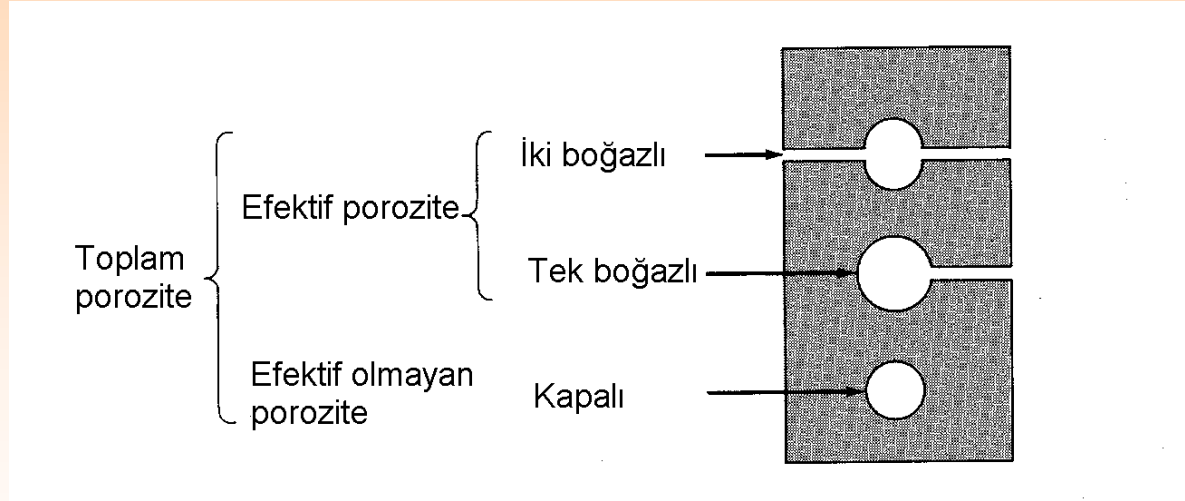
Bir kayacın toplam boşluk hacminin toplam katı hacmine oranına porozite denir. Petrol jeolojisinde porozite % cinsinden tanımlanır.

$$\text{Porozite (\%)} = \frac{\text{Boşluk hacmi}}{\text{Toplam kayaç hacmi}} \times 100$$

GÖZENEK MORFOLOJİSİ

Porozite, efektif ve efektif olmayan porozite olmak üzere ikiye ayrılır. Petrol açısından efektif porozite önemlidir


(Şekil.2).



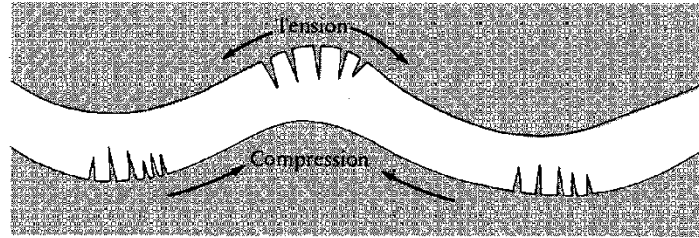
POROZİTE SINIFLAMASI

Çizelge.1

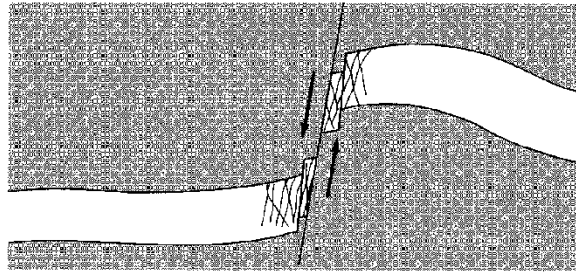
| Oluşum zamanı | Tip | Köken |
|----------------------------------|--------------------------------|--|
| Birincil veya çökeltme ile yaşıt | İntergranüler İntragranüler | Çökeltme |
| İkincil ya da çökeltme sonrası | İnterkristalin Fenestral | Çimentolanma |
| | Vug Moldik | Erime |
| | Çatlak | Tektonik (sıkışma, dehidratasyon, diyajenez) |

- 
- **İntergranüler ve intragranüler porozite** sıkışma (kompaksiyon) ve çimentolanma ile kolayca tahrip edilir. Bu durum bilhassa kil ve karbonatlarda yaygındır.
 - **Moldik porozite** belirli tanelerin erimesi ile oluşan porozitedir.
 - **Vug porozitenin** belli bir şekli yoktur. Kayanın kendisinin erimesi ile oluşur. Boyut olarak moldik poroziteden daha büyüktür. Vug porozite çok daha büyürse mağara-boşluk oluşur.
 - **Fenestral porozite** çökeltme sırasında oluşan boşluklardır. Örneğin laminaların dehidratasyon sonucunda büzüşmesi ve çatlaması ile oluşur. Bu nedenle birincil porozite olarak da değerlendirilmektedir.
 - **İnterkristalin porozite** kristalli kayalarda kristal aralarında gelişir ve daha çok dolomitlerde görülür.

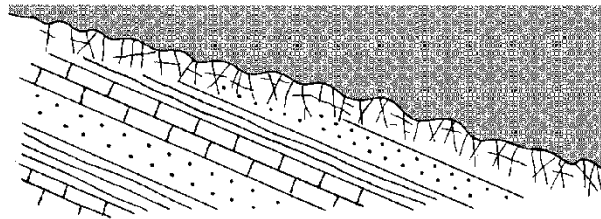
- Çatlaklar kıvrımlara (A), faylara (B) ve diskordanslara (C) bağlı olarak gelişirler. Çatlak porozitesi petrol açısından en önemli porozitedir (Şekil.4).



A




B



C

Çizelge.2. Levorsen (1967)'e göre hazne kayanın gözeneklilik ve geçirgenlik değerleri

| % Gözeneklilik | Geçirgenlik (md) | Hazne kaya Değerlendirme |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------------|
| 0-5 | - | Önemsiz |
| 5-10 | - | Zayıf |
| 10-15 | 1.0-10.0 | Orta |
| 15-20 | 10.0-100 | İyi |
| 20-25 | 100-1000 | Çok iyi |



Karbonatlarda 1.cil ve 2.cil olmak üzere iki temel porozite tipi vardır.

1.cil porozite çökeltme esnasında oluşurken, ikincil porozite çökeltme

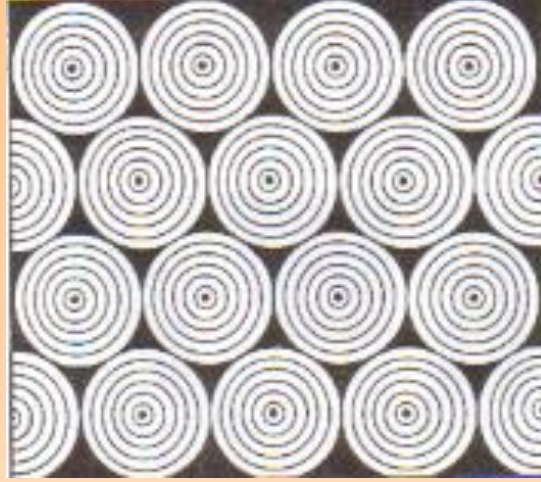
sonrasında erken süreçten geç sürece kadar etken olabilen çeşitli

diyajenez evreleri sırasında meydana gelir.

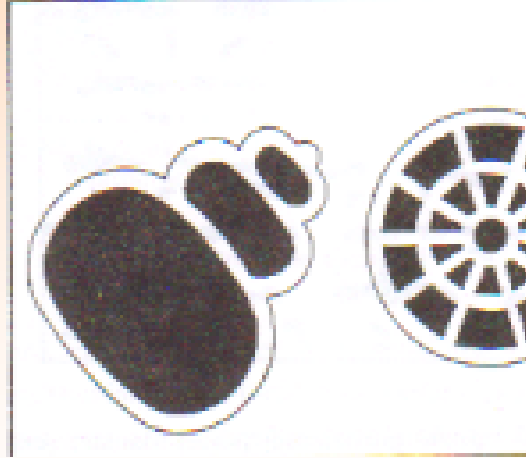
Karbonat kayalarında porozite tiplerini belirlemede kullanılan en yaygın porozite sınıflaması Choquette ve Pray(1970) a göre yapılmaktadır (Çizelge.3).

| FABRİK SEÇİMLİ | FABRİK SEÇİMSİZ |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">● Taneler arası● Tane içi● Billurarası● Kalıp● Izgara● Sığınak● Büyüme çatısı | <ul style="list-style-type: none">● ÇATLAK● KANAL● KOVUK● MAĞARA |
| FABRİK SEÇİMLİ VEYA DEĞİL | |
| ● BREŞ ● DELİK ● TÜP ● BÜZÜŞME | |

Lacil porozite



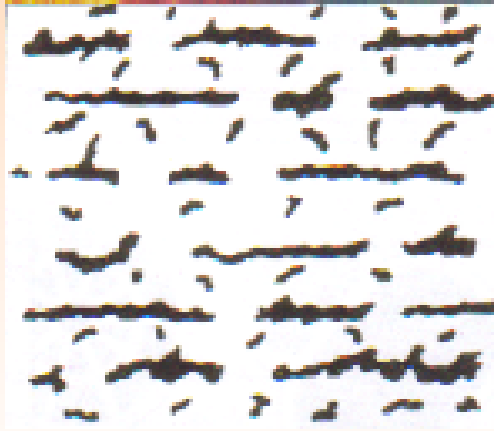
Şekil.5. Tanelerarası porozite karbonat kum fasiyeslerinde (tanetaşları) yaygındır.



Şekil.6. Taneiçi porozite iskelet tanelerin yumuşak kısımlarının yok olmasıyla meydana gelir.



Şekil. 7. Resiflerde büyüme çatısı porozitenin (siyah alanlar) görünüşü. Resifler veya bağlamtaşı gibi karbonat yığınaklarında oluşan tanelerarası ve taneiçi boşluklardır.



Şekil. 8. Gözlü porozitenin (fenestrate) görünüşü. Laminalanmaya paralel gelişir. Gel- git ortamında (mavi-yeşil alglerin oluşturduğu laminalı stratomalitlerde) kuşaklarında gelişen jeoloji kaydında ender görülen petrol rezervuar fasiyesleridir.



Şekil.9. Sığnak porozite iri iskelet parçaları ve kaba intraklastların şemsiye rolü oynadığı ve ince malzemenin giremediği alt kesimlerinde gelişir ve korunur.

2. cil porozite

Şekil.10. Kalıp porozite aragonit bileşimli oolit ve mollusk kavrıklarının tatlı su diyajenezi ile çözündürülüp uzaklaştırılması ile oluşur



Şekil.11. Çözünme mekanizması sonucu oluşan kalıp porozitenin görünüşü



—2 cm—

Şekil 12. Kovuk ve kanal porozitenin (sıyın alanlar)

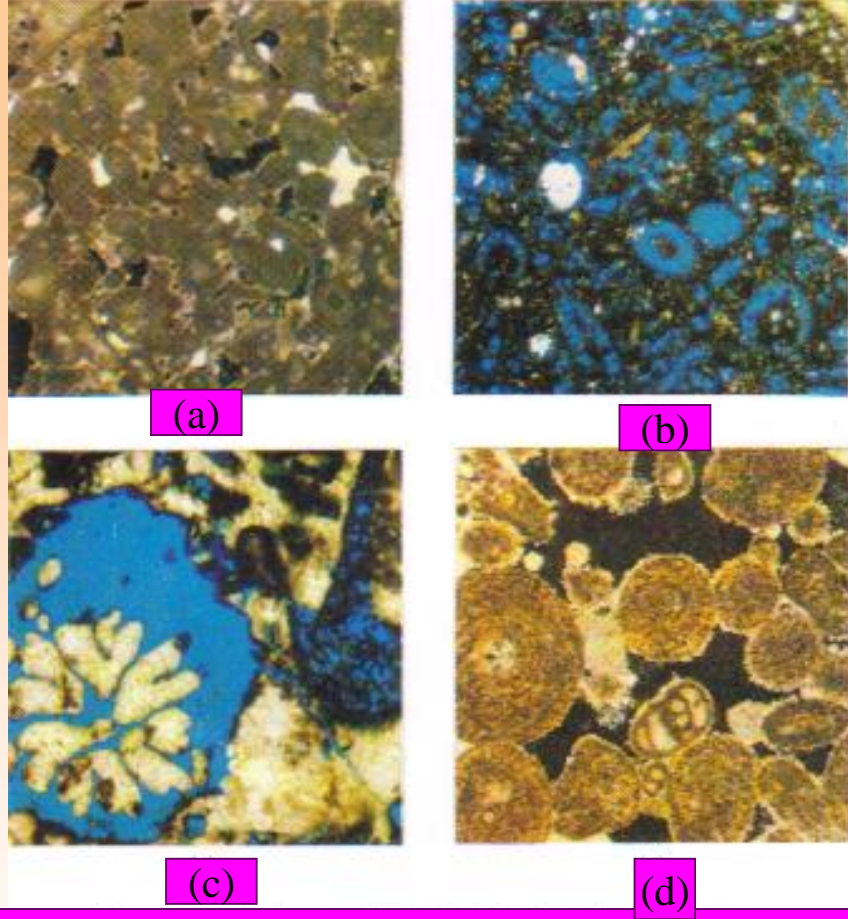
Şekil. 12. Kovuk ve kanal porozitenin görünüşü. Oluşumlarında tatlı su diyajenezi birinci derecede etkindir.

Önemli

petrol ve gaz rezervuarlarının kapanlayıcısı olarak bilinirler.



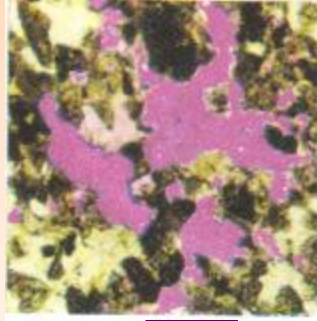
Şekil.13. Çatlak porozite özellikle geç diyajenetik evrede sıkışma olayları ile gelişir. Özellikle permeabiliteyi artırarak rezervuar şartlarını iyileştirirler.



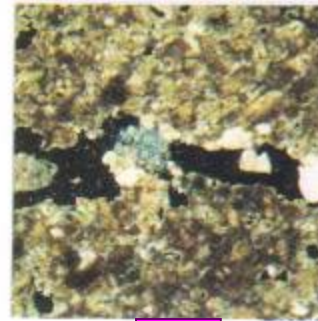
Şekil.14. Bazı porozite tiplerinin fotomikrografları: a) tanearası b) kalıp c) taneici d) tanelerarası porozite (Scholle, 1978)



(a)



(b)

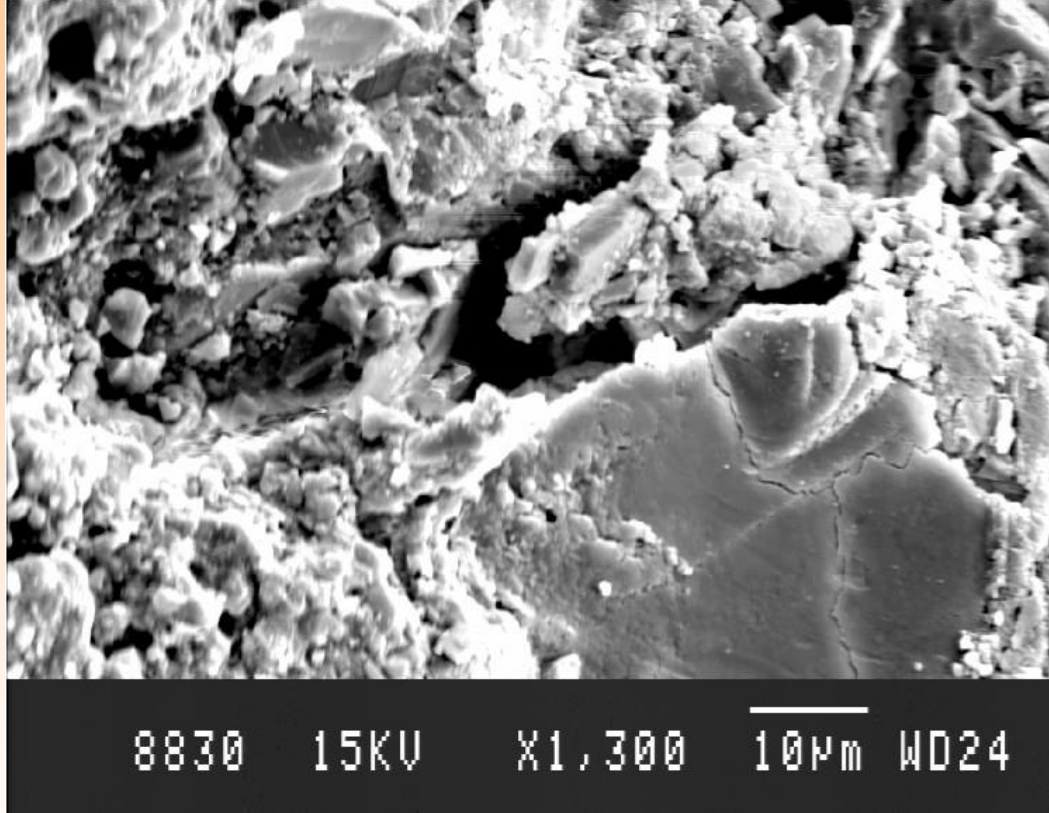


(c)

Şekil.15. Erime boşluklarının mikrofotoğrafı a) çatlak porozite b) Peloidal tanetaşındaki genişleyen erime porozitesi (pembe alanlar) c) Karbonat vaketaşında gelişen çatlak ve erime porozitesi (siyah alanlar)

Çözünme

Çökeller içindeki çeşitli bileşenlerin doygun olmayan sıvı içinde erimeleri olayıdır.

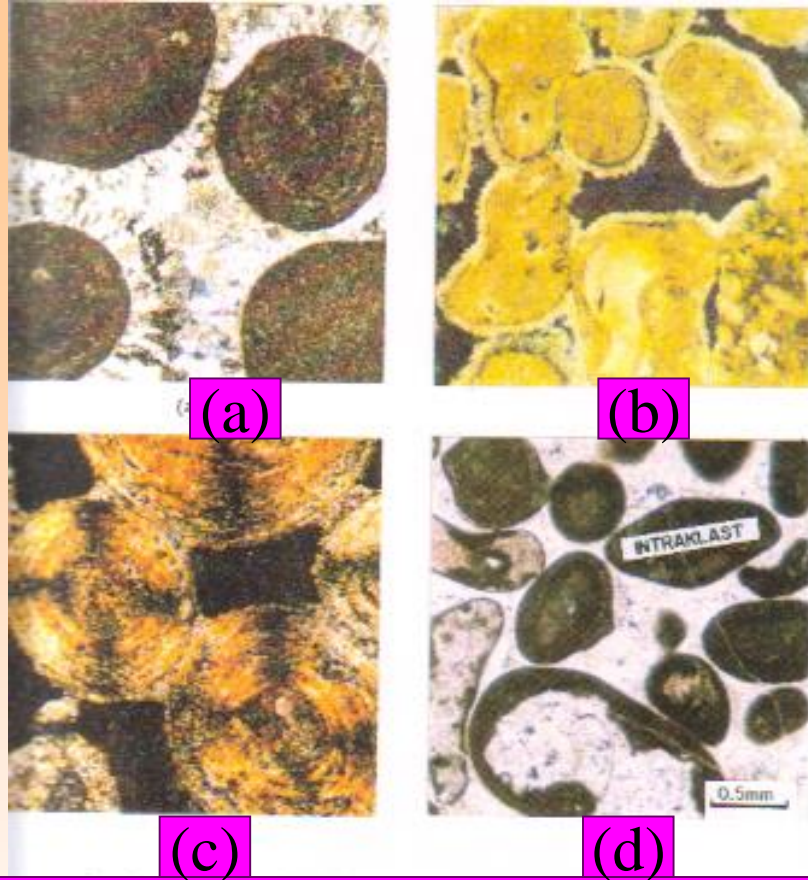


Şekil.16. Fotoğrafta erime ile ikincil gözeneklilik porozitesinin(kalıp) oluştuğu izlenmektedir.

Çimentolanma

Çimentolanma, gözeneklere, kovuk ve çatlaklara, taneler arasına CaCO_3 'ın kimyasal yoldan çökmesi işlemidir.

Çimentolanma karbonat kayalarında mevcut porozite ağını kısmen ve tamamen yok eden bir işleme olup fasiyeslerin rezervuar özelliklerini ortadan kaldırır.



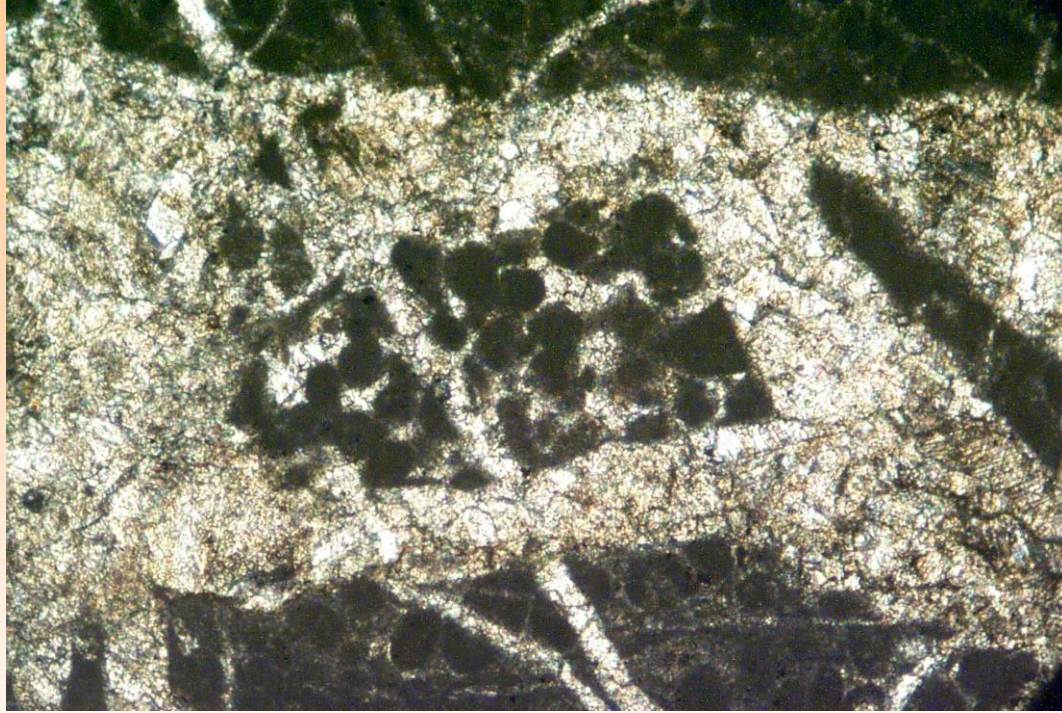
Şekil.18. Bazı çimento tiplerinin fotomikrografları: a) oolitic tanetaşında ışınal denizel kalsit çimento (Scholle, 1978) b) plaj kayasında izopak aragonitik kenar çimento (Scholle, 1978) c) oolitic tanetaşında aragonitik tatlı su çimentosu (Scholle, 1978) d) Intraklastlı tanetasında tanearası sparikalsit çimento

Yeniden kristallenme

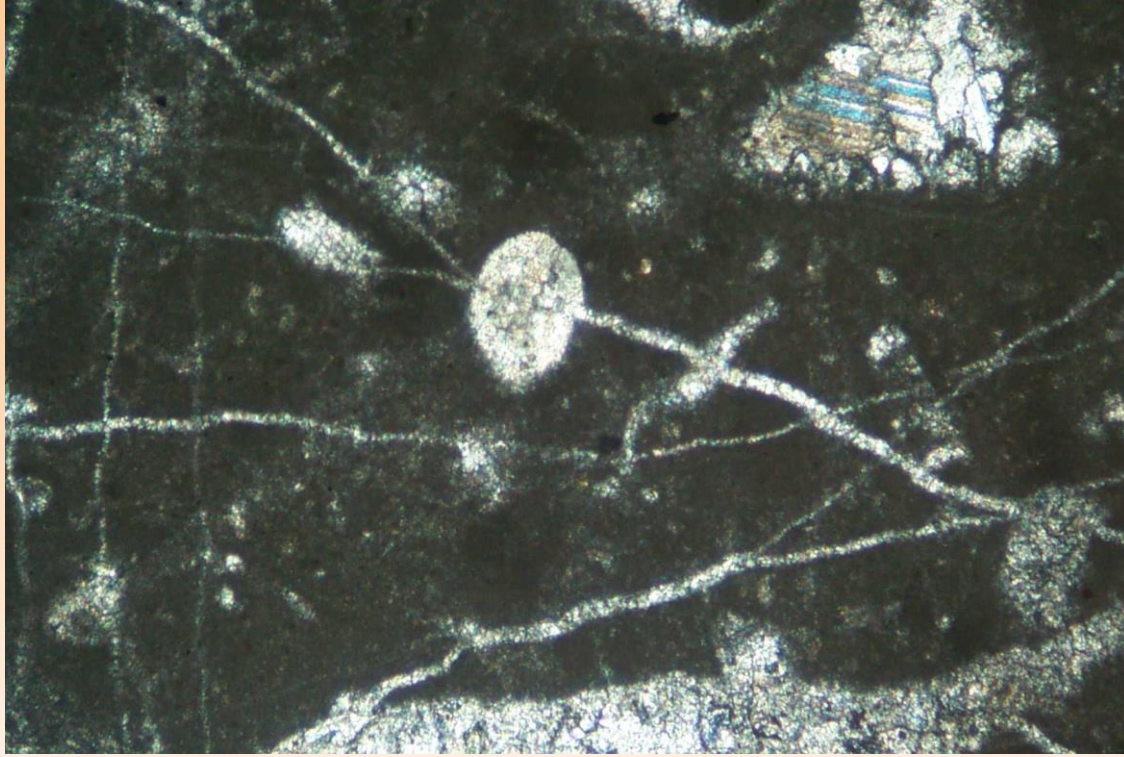
Devamlı çökme nedeniyle gömülen çökeller artan sıcaklık ve basıncın etkisiyle eriyip tekrar kristalleşerek yeni kristaller oluşturmaktadır. Yeniden kristallenen mineralin kimyasal bileşiminde herhangi bir değişiklik olmamaktadır.



Şekil.19. Fotoğrafta kalsitik mikrit bağlayıcı mikrosparitik kalsit çimentoya dönüşmüştür. Adana havzası, Karaisalı kireçtaşları



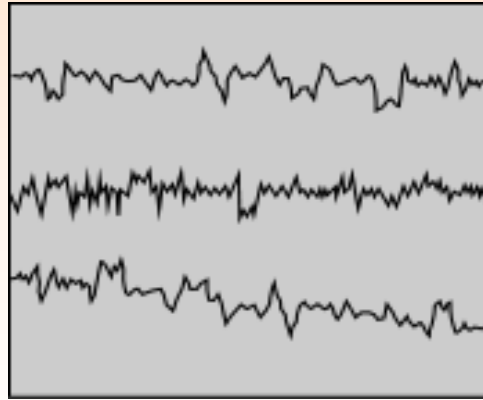
Şekil.20. Bolu civarı Tokmaklar Formasyonu'na ait kesitte gözlenen kalsit çimentolanma örneği



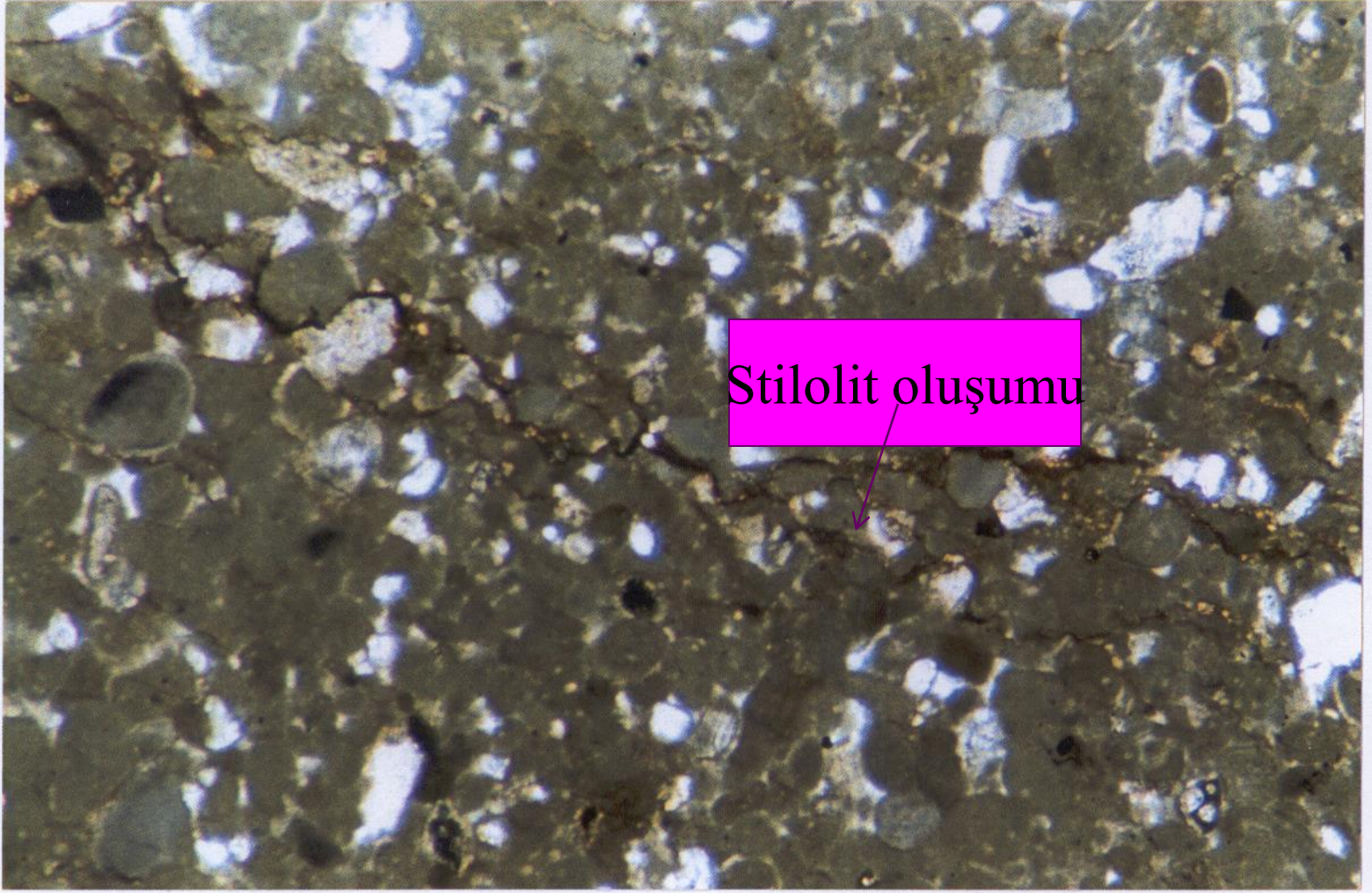
Şekil.21. Bolu civarı Soğucak Formasyonu'na ait kesitte gözlenen kuş gözü çimentolanma örneği

Stilolitleşme

Gömülme diyajenezi evresinde basınç çözeltisi ile ilişkili olarak oluşur. Organik materyal ve erimeyen partiküller (kil partikülleri) yaygın olarak stilolit yüzeylerinde oluşur ve adeta kayaçta bir diş görüntüsü sunarlar (şekil.50). Stilolitleşme geç diyajenetik orijini gösterir.



Şekil.22. Stilolit oluşumu



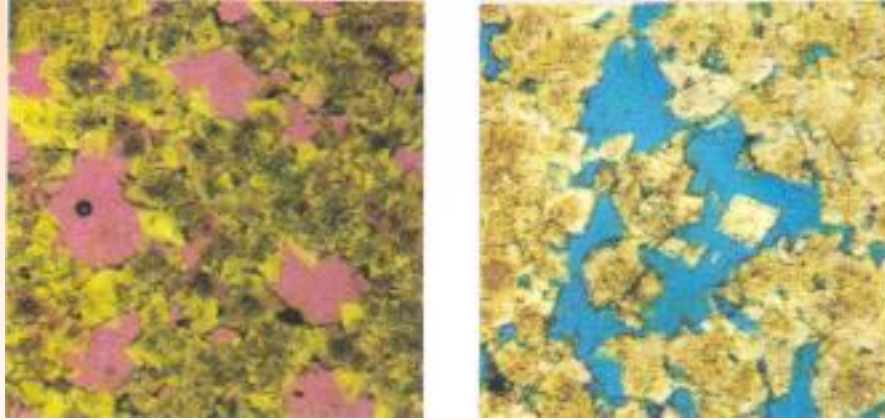
Şekil.23. Oolitik istiftaşı mikrofasiyesi stilolit oluşumu izlenmektedir.
Aşkale-1 kuyusu. Doğu Anadolu havzası.

Dolomitleşme

Gömülme diyajenezinin önemli sonuçlarından birisi de dolomitleşmedir.

Dolomitleşmenin oluşumunu sağlayan Mg girdisi kil minerallerinin dönüşümünden tuzlu deniz suyu ve tuzlu evaporit salamuralarından sağlanabilir (Land, 1985).

Kireçtaşlarında dolomitleşme ile hazne kayacın gözenekliliğinde yaklaşık % 10 civarında artma olabilir.



Şekil.24. İdiyo-hipidiyotopik billur dokulu dolomitte gelişen erime porozitesi

POROZİTENİN ÖLÇÜLMESİ

Porozite

Doğrudan karot üzerinde

ve Boyles Kanunu metoduna göre ölçülür

BOYLES KANUNU METODU

$$\text{Basınç} \times \text{Hacim} = \text{Sabit}$$

prensibine dayanan bir ölçme yöntemidir. Basınç belli bir miktar düşürülür ve kap içerisindeki gazın hacim artışı ölçülür. Buradan porozite hesaplanır.



Gaz
porozimetre
(He veya
nitrojen
gazı)



Örnek tutucu



Bir porozimetreden porozite nasıl hesaplanır?

Aşağıdaki eşitliklerde V_1 ve V_2 sabittir. Her bir porozimetre için farklı V_1 ve V_2 değerleri mevcuttur. Bu değerler cihazın arkasında bir tabelada yer alır.



Core Bulk Volume (Karot toplam hacmi)

$$V_B = \pi D^2 L / 4$$

V_B = Toplam hacim

$$\pi = 3.14$$

D = Diameter (numune çapı)

L = Length(numune boyu)



Core Grain Volume (Karot tane hacmi) $V_G = V_2 - V_3$

V_G = Karot tane hacmi (Core Grain Volume)

V_2 = Porozimetreden okunacak sabit hacim

V_3 = Hesaplanacak hacim

$$V_3 = P_1 \cdot V_1 / P_2$$

P_1 = Başlangıç basınç değeri (Initial Pressure Value)

P_2 = Son basınç değeri (Final Pressure Value and Expansion)

V_1 = Porozimetreden okunacak sabit hacim (Constant of Porosimeter)

$$\text{Porosite } (\Phi) = (V_B - V_G) \cdot 100 / V_B$$

Örnek:

$$L = 2.65 \text{ cm} \quad D = 2.54 \text{ cm}$$

$$P1 = 182.6 \text{ PSI} \quad P2 = 71.5 \text{ PSI}$$

$$V1 = 58.64 \text{ cc} \quad V2 = 161.18 \text{ cc}$$

$$V_B = \pi D^2 L / 4 = 3.14 \cdot 2.54^2 \cdot (2.65) / 4 = 13.43 \text{ cc}$$

$$V3 = P1 \cdot V1 / P2 = 182.6(58.64) / 71.5 = 149.76 \text{ cc}$$

$$V_G = V2 - V3 = 161.18 - 149.76 = 11.42 \text{ cc}$$

$$\Phi = (V_B - V_G) 100 / V_B = (13.43 - 11.42) 100 / 13.43 = 14.93\%$$

PERMEABİLİTE

Bir rezervuar kaya için porozitenin yanısıra permeabilite (geçirimsizlik) de son derece önemli bir özelliktir. **Darcy** formülüne göre

$$Q = \frac{K (P_1 - P_2) A}{\mu L}$$

Q = akış oranı cm^3/s

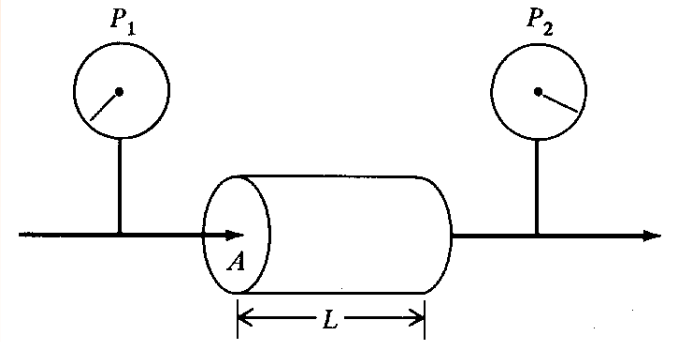
K = permeabilite darcy

$P_1 - P_2$ = numune boyunca basınç farkı atm

A = numunenin enine kesit alanı cm^2

L = Numune boyu cm

μ = Akışkanın viskozitesi cp



Şekil.40.

- Permeabilite birimi **Darcy**'dir.
- 1 cm/sn hızla 1 atm/cm basınç farkı altında geçen 1 santipoiz (cP) viskozitedeki akışkan miktarı **1 Darcy**'dir.
- Rezervuarların çoğunda permeabilite **1 Darcy**'den az olduğu için **milidarcy** (md) kullanılır. Ortalama rezervuar permeabilitesi 5 ile 500 md arasında değişir.
- Darcy kanununun geçerli olması için formasyon içerisindeki sıvı ile kaya arasında kimyasal bir reaksiyon olmaması, akışkanın tek bir fazda olması gerekir ki bu doğada çoğu zaman gerçekleşmez. Yani olaylar çok daha kompleks olarak gelişmektedir.

PETROLÜN VİSKOZİTESİ

Viskozite bir sıvı veya gazın akmaya karşı direncini ifade eder. Yani akışkanlığın tersidir.

Petrolün viskozitesi petrolün bileşimine bağlıdır. Yoğunluk ve ağır bileşen miktarı arttıkça viskozite de artar. Sıcaklık ve gaz miktarı arttıkça viskozite düşer.

Viskozite birimi Poise'dir. Bir sıvı 1 cm² kesitindeki bir tüp içerisinde 1 dyn basınç altında 1 saniyede 1 cm ilerliyebiliyorsa viskozitesi 1 Poise'dir. Poise'in yüzde birine Centipoise denir.

Yüksek viskoziteli petrolün taşınması ve üretilmesinde güçlükler vardır 1 poise = 0.1 Pa·s.

Viskozite değerleri

25 °C benzen viskozitesi 6.04×10^{-4} (Pas)

0 °C de

cıva

1.526×10^{-3} (Pa.s)

hava

17.4×10^{-6} (Pa.s)

Petrolün Fiziksel özellikleri


Petrol sıvı halinde genellikle kahverengi , koyu yeşil veya siyah renktedir. Yoğunluğu kimyasal bileşimine ve viskozitesine göre değişir. En hafif olarak bilinen bir Rus petrolünün özgül ağırlığı (d) 0.650 gr/cm³ ve en ağır olarak bilinen bir Meksika petrolünün (d) ise 1.080 gr/cm³ dir. Bugün petrol endüstrisinde petrolün özgül ağırlığı yerine A.P.I. Gravite derecesi kullanılır. Petrolün özgül ağırlığı ile A.P.I. Gravite derecesi arasında ters bir orantı vardır. Gravite büyüdükçe yoğunluk küçülmekte ve petrolün kalitesi yükselmektedir. Gravite küçüldükçe yoğunluk artmakta ve petrolün kalitesi düşmektedir.

Petrol genel olarak sudan hafiftir. Petrolü özgül ağırlığına veya A.P.I. Gravite derecesine göre 3 gruba ayırmak mümkündür.

1. Hafif petrol ...,özgül ağırlığı < 0.85, A.P.I. gravite derecesi > 30

2. Orta petrol,özgül ağırlığı $0.85--0.9$, A.P.I. gravite derecesi $20--30$

3. Ağır petrol ...,özgül ağırlığı $0.9-- 1.0$, A.P.I. gravite derecesi $10--20$



Petrol suda erimez; benzin, alkol, eter, aseton içerisinde erir. Petrol ile su az miktarda karışabilirler. Bilhassa petrol yataklarında petrol ile suyun kontak halinde bulunduğu yerlerde su ile petrol belirli oranda karışmış bir emülsiyon halinde bulunurlar. Petrolün viskozite değeri çok önemlidir. Çünkü bu değer petrolün özellikle boru hattı içerisinde akıcılık derecesini gösterir. Viskozite değeri yüksek olan bir petrol boru içerisinde zor akar, viskozite değeri düşük ise kolay akar.

Permeabilite ikiye ayrılır:

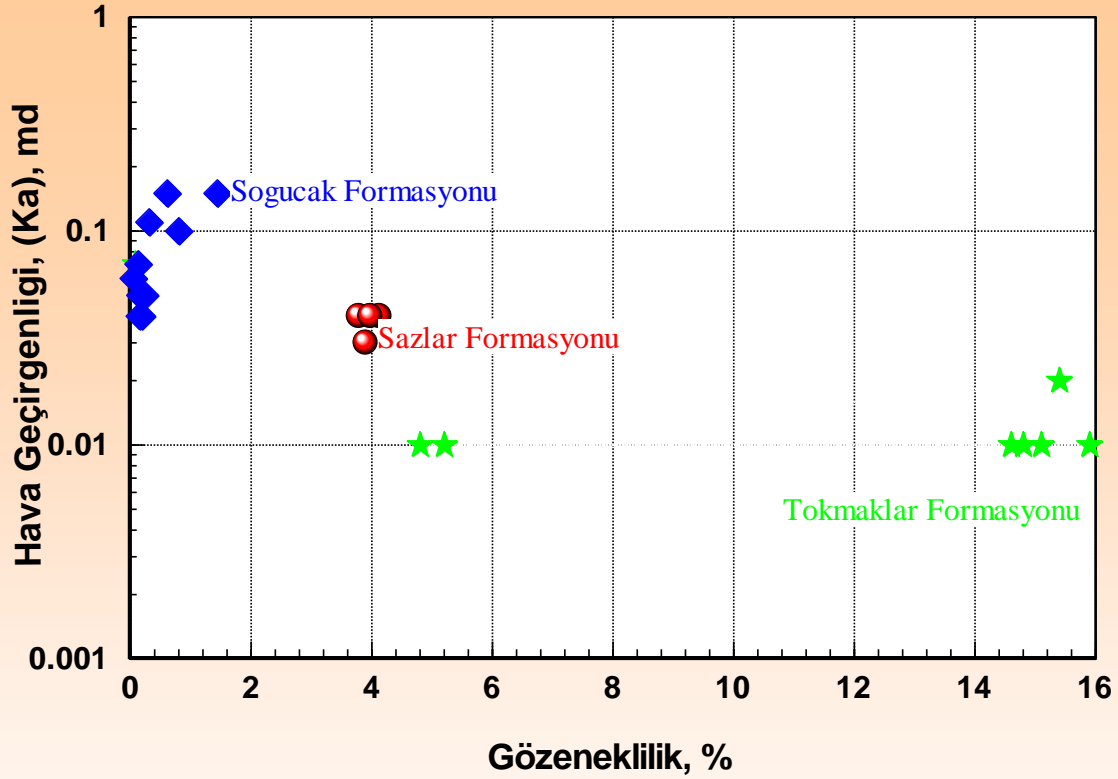
1- **Spesifik permeabilite**: Kayanın bütün gözenekleri akışkan ile doygun (satüre) ise

2- **Efektif permeabilite**: Kayanın gözenekleri % 100 tek bir akışkan ile doldurulmamış ise sözkonusu olan permeabilitedir.

Efektif permeabilitenin spesifik permeabiliteye oranı **rölatif permeabilite** adı ile bilinir.

Çizelge 3. Karot numuneler üzerinde yapılan testlerle hesaplanan gözeneklilik ve geçirgenlik değerleri

| Örnek No: | Formasyon | Gözeneklilik (%) | Geçirgenlik Hava (md) | Geçirgenlik Sıvı (md) |
|-----------|----------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| S-1 | Sazlar Formasyonu | 3.9 | 0.03 | 0.02 |
| S-7 | Sazlar Formasyonu | 3.98 | 0.04 | 0.03 |
| S-8 | Sazlar Formasyonu | 4.13 | 0.04 | 0.02 |
| G-7 | Sazlar Formasyonu | 3.79 | 0.04 | 0.02 |
| G-8 | Soğucak Formasyonu | 0.15 | 0.04 | 0.03 |
| G-9 | Soğucak Formasyonu | 0.08 | 0.07 | 0.04 |
| G-11 | Soğucak Formasyonu | 0.16 | 0.05 | 0.03 |
| G-12 | Soğucak Formasyonu | 0.05 | 0.06 | 0.03 |
| G-13 | Soğucak Formasyonu | 0.24 | 0.05 | 0.03 |
| G-14 | Soğucak Formasyonu | 0.80 | 0.10 | 0.06 |
| G-15 | Soğucak Formasyonu | 1.44 | 0.15 | 0.0 |
| G-16 | Soğucak Formasyonu | 0.31 | 0.11 | 0.07 |
| G-17 | Soğucak Formasyonu | 0.13 | 0.07 | 0.04 |
| G-18 | Soğucak Formasyonu | 0.61 | 0.15 | 0.09 |
| G-19 | Soğucak Formasyonu | 0.19 | 0.04 | 0.02 |
| BÜ-16 | Tokmaklar Formasyonu | 15.9 | 0.01 | 0.01 |
| BÜ-1 | Tokmaklar Formasyonu | 15.4 | 0.02 | 0.01 |
| BÜ-3 | Tokmaklar Formasyonu | 14.8 | 0.01 | 0.01 |
| BÜ-4 | Tokmaklar Formasyonu | 15.1 | 0.01 | 0.01 |
| G-5 | Tokmaklar Formasyonu | 5.2 | 0.01 | 0.01 |
| BÜ-9 | Tokmaklar Formasyonu | 4.8 | 0.01 | 0.01 |
| BÜ-10 | Tokmaklar Formasyonu | 14.6 | 0.01 | 0.01 |



Şekil .41. Soğucak, Sazlar ve Tokmaklar Formasyon'larına ait % gözeneklilik ve hava geçirgenliği (Ka) ilişkisi

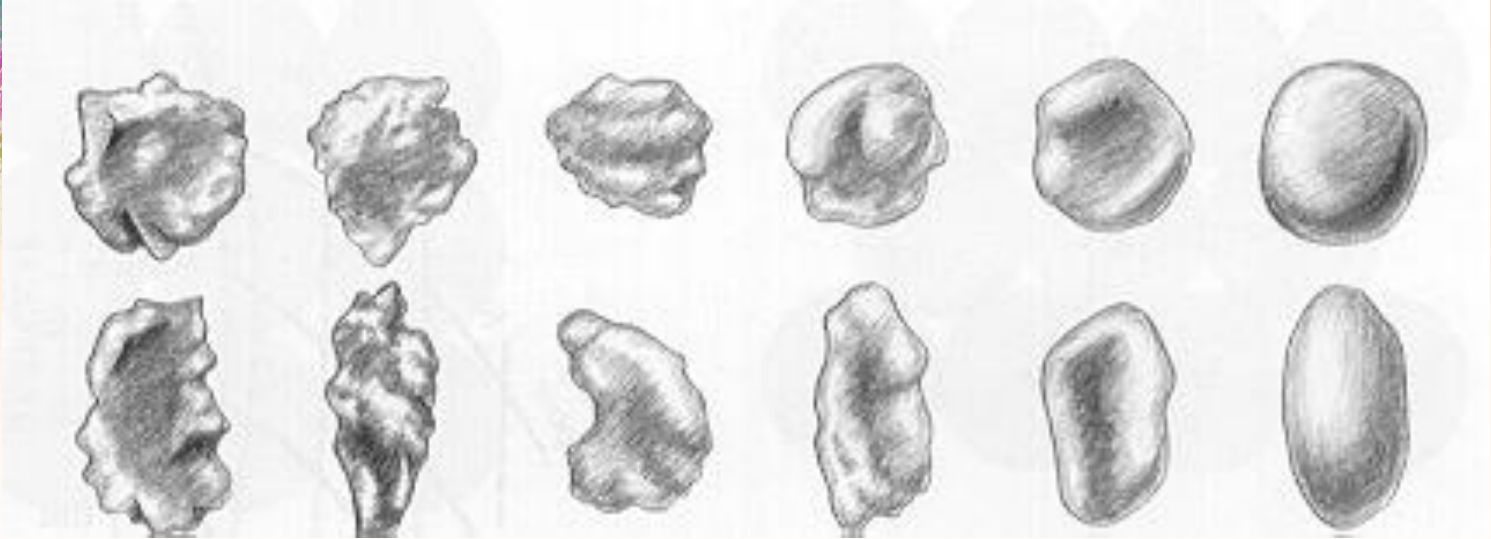
POROZİTE-PERMEABİLİTE-DOKU İLİŞKİSİ

Sıkılaşmamış bir çökeltide dokusal parametreler porozite ve permeabiliteyi belirler. Bu parametreler şunlardır:

- Tane şekli
 - Yuvarlaklık
 - Küresellik
- Tane boyu
- Boylanma
- İstiflenme
 - Paketlenme
 - Tane düzenlenimi

TANE ŞEKLİ

Bir kırıntılı kayada taneler ne kadar küresel ise porozite o kadar azalır. Çünkü küresel taneler daha sıkı paketlenirler (Şekil.42).



TANE BOYU

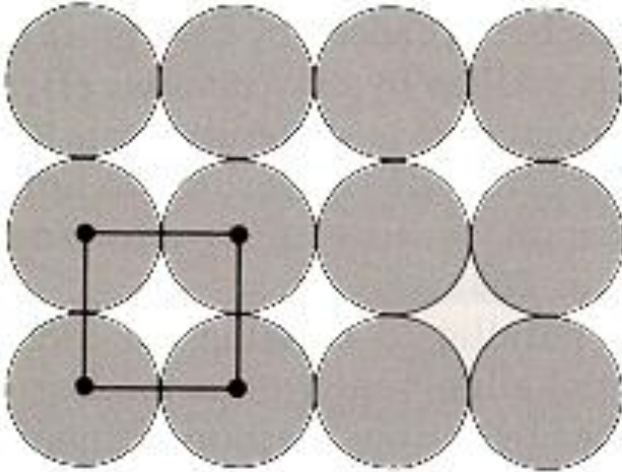
- Teorik olarak tane boyu ile porozite arasında bir ilgi olmamasına rağmen pratikte iri taneli çökeller ince taneli olanlara oranla daha gözeneklidir.
- Tane boyu küçüldükçe permeabilite de azalır. Çünkü boşluklar arasındaki boğazlar daralır ve buna bağlı olarak kapiler basınç artar. Bu da permeabilitenin azalmasına yol açar.

BOYLANMA

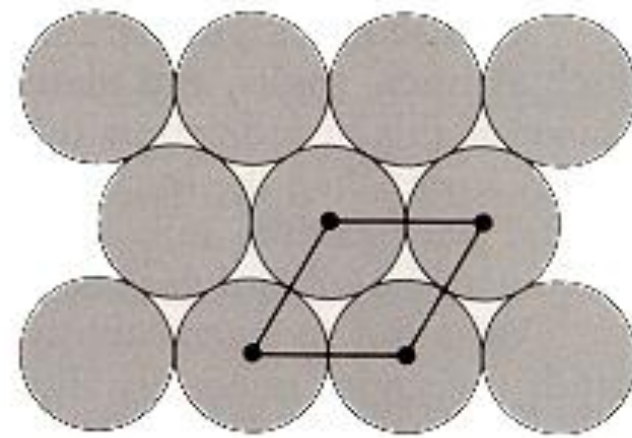
Boylanma iyi ise porozite ve permeabilite artar, boylanma kötü ise porozite ve permeabilite azalır.

PAKETLENME

Porozite ve permeabilite kübik paketlenmede daha fazla, romboidal paketlenmede ise daha azdır. Ancak paketlenme türü zamanla sıkışmaya bağlı olarak değişebilir.



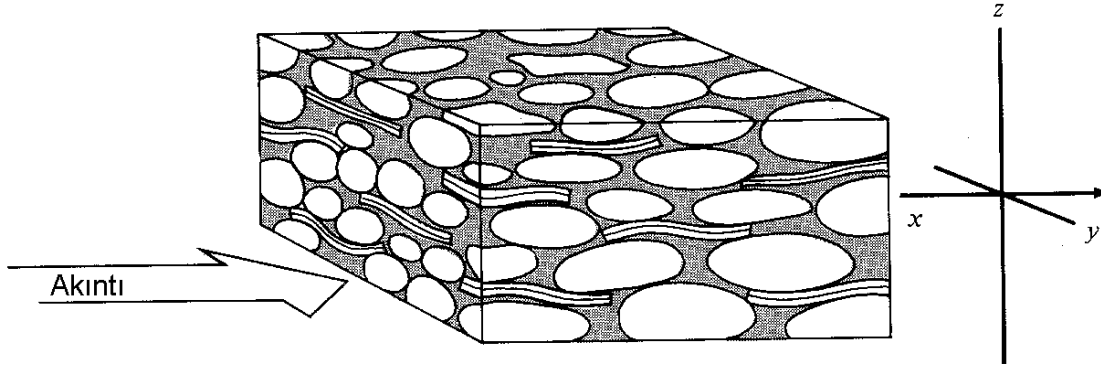
Kübik paketlenme
Porozite % 46



Romboidal paketlenme
Porozite % 26

TANE YÖNELİMİ

Tane yönelimi poroziteden ziyade permeabilite ile ilgilidir. Çökellerde genellikle çubuksu ya da düzlemsel taneler tabakalaşmaya paralel bir yönelim gösterirler. Bu nedenle rezervuarlarda düşey permeabilite yatay permeabiliteye nazaran daha düşüktür.



Şekil.44.