

YERALTI JEOLojİSİ

DERS NOTLARI

Doç. Dr. Kadir Dirik
Hacettepe Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
2006

KATALOG TANIMI: JEO 464 YERALTI JEOLJİSİ

Kredisi: (1-2) 2

DERS KAPSAMI

I. Giriş

II. Kuyu Mühendisinin Görevleri

III. Yeraltı Jeolojisi Laboratuvar Yöntemleri

IV. Yeraltı Harita Çeşitleri

1. Yapı kontur haritası
2. İzopak ve izokor haritaları
3. Fasiyes haritaları
4. Paleojeoloji haritası
5. Jeofizik haritası
6. Jeokimya haritası
7. Gözeneklilik ve geçirgenlik haritası
8. Sıcaklık haritası
9. Basınç haritası
10. Diğer haritalar

V. Korelasyon

1. Tarif ve genel bilgiler
2. Korelasyonun amaçları
3. Korelasyon yöntemleri
4. Korelasyon çeşitleri
5. Korelasyon ve stratigrafi
6. Korelasyon ve tektonik

VI. Kuyu Logları, Çeşitleri ve Yeraltı Jeolojisindeki Önemi

I. GİRİŞ

Yeraltı jeolojisinin konusunu, yer kabuğu içindeki stratigrafik, yapısal ve ekonomik değerlerin yorumu teşkil eder.

Böyle bir yorumu yapabilmek için de jeoloji mühendisinin, öncelikle yüzeyde elde ettiği bilgileri yeraltına uyarlaması, sonra da yeraltını öğrenmek amacıyla açılan sondajlardan, jeofizik ölçülerinden yararlanması gerekmektedir. Yani, yeryüzünde jeolojik harita almak, kesitler çıkarmak gibi her tür metodu kullandıktan sonra jeoloji mühendisinin yeraltına ait bilgileri bir araya getirmesi, bunları açıklaması ve netice çıkarması gerekmektedir. Yeraltı, yerüstünün aksine üç boyutlu ve çok karmaşık bir ortam olup burası ile ilgili yeterli bilgileri elde etmek hem çok güç hem de oldukça pahalıdır. Bu nedenle yeraltı ile ilgili çalışmalar yapacak olan jeoloji mühendisinin çok iyi yetişmiş, gerekli bilgilerle donatılmış kişiler olması gerekmektedir.

Bir yeraltı mühendisinin şu bilgilere ve becerilere sahip olması gerekir:

- 1) Temel jeolojik yapıları çok iyi tanınması,
- 2) Değişik kayaç tiplerini çok iyi tanınması
- 3) Jeolojik olayları üçboyutlu düşünebilmesi
- 4) Problemlerin ekonomik yönlerini anlayabilmesi.

kişiler olması gerekmektedir.

Yeraltı mühendisi bu sayılan dört madde arasında bir ilişki kurabilmeli ve bunları bir araya getirerek bir netice çıkarabilmelidir.

Bundan başka jeoloji mühendisi, jeolojik yapıların stratigrafiye ve stratigrafinin de jeolojik yapıya karşı olan önemlerini anlayabilmelidir. Ayrıca şunu iyice bilmelidir ki, stratigrafik ve yapısal problemleri çözebilmek için mutlaka kayaları değerlendirmek ve aralarındaki ilişkiyi anlamak gereklidir. Özellikle jeofizik yöntemlerle elde edilen değişik logları değerlendirmek için, bunların ait oldukları kaya ve tabakaların litolojisini çok iyi tanımak lazımdır. Yeraltında üç boyutlu çalışmak gerektiği için de iyi bir hayal canlandırma becerisi gereklidir; analitik ve sistematik olarak hareket edilmesi ve çeşitli hipotezlerin akıldan geçirilmesi gereklidir.

Yeraltı jeolojisinin petrol endüstrisindeki uygulaması 1925 yılından başlayarak önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Jeolojinin birçok alanında yeraltı jeolojisi, yerüstü jeolojisinden çok daha fazla bir önem kazanmış olup petrol aramaları buna en iyi örnektir. Bugün yeraltı jeolojisinden faydalanmadan modern usullerle petrol arayıp bulmak mümkün değildir. Geçmiş yıllarda, dünyanın birçok yerinde yerüstündeki yapıları gelişigüzel delerek petrol aramak ve bulmak mümkün olmuştur. Ancak günümüzde bu gibi yüzey yapılarının adedi çok azalmış olup petrolü çok daha karışık ve yüzeyden belirlenmesi imkansız kapanlar içinde aramak gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için ise, ancak ve ancak yeraltı jeolojisinin günden güne gelişen yöntemlerini kullanmak gerekmektedir.

Geçmişte hiç dikkate alınmayan yeraltı bilgileri, bugün petrol aramada en büyük değeri taşımakta ve aşağıda belirtilen problemlerin çözümünde kullanılmaktadır:

- 1) Petrol yapılarının tam olarak sınıflandırılması,
- 2) Fay sistemlerinin iyi tanınması ve bunların petrollü zonlarla olan ilişkisi,
- 3) Diskordansların yeri ve değeri,
- 4) Fasiyes değişimleri, inceli kalınlaşmaları,
- 5) Jeofizik bilgilerinin yorumlanmasında,
- 6) Hidrokarbonların orijini, migrasyonu (göçü) ve akümüasyonu (birikimi)

Petrol aramalarında önemli olan bu 6 noktanın dışında, mühendislik jeolojisi, su ve maden aramalarında da yeraltı jeolojisinin birçok katkısı vardır:

- 7) Bina, köprü ve baraj inşaatında ve tünel açmada,
- 8) Maden yataklarının keşif ve tayininde,
- 9) Yeryüzü drenaj sistemlerinin geliştirilmesinde,
- 10) Yeraltı sularının tayin ve tespitinde,
- 11) Toprak çeşitlerinin yorumlanmasında.

Petrol aramalarında ve işletmelerinde çeşitli görevleri bulunan jeoloji mühendisinin bir yandan petrol mühendisi, diğer yandan da idare ile yakın ilişkileri bulunur. Aşağıdaki tablo bu ilişkiyi göstermektedir.

	İDARE	
	Yönlü sondaj	
	Asitleme	
JEOLOJİ MÜHENDİSİ	Çimentolama	PETROL MÜHENDİSİ
Stratigrafi	Formasyon testi	Kimya
Yapısal Jeoloji	Elektron mikroskopisi	Fizik
Sedimentoloji	Elektrik log'u	Matematik
Sedimentasyon	Radyoaktif log	Termodinamik
Paleontoloji	Termal log	Sıvı ve Gaz etütleri
Mineraloji	Kaliper log'u	Mekanik
Petroloji	Mikrolog	Rezervuar incelemesi
Petrografi	Delme-zamanı logu	Mukavemet
Tektonik	Endüksiyon logu	
Jeokimya	Spektroşimik analiz	
	X-ışını analizi	
	Karot analizi	
	Çamur analizi	

Yeraltı Jeolojisinin Bazı Önemli Problemleri

Petrol arama ve işletmesinde çok değişik problemlerle karşılaşılır. Bunlardan bazılarının çözümü basit, fakat birçoğunun da çözümü o nispette güç olup uzun ve pahalı etütleri, çok düşünmeyi ve iyi bir yorumlamayı gerektirir. Karşılaşılan en önemli problemler şöyle özetlenebilir:

- 1) Yerüstü ve yeraltı stratigrafik birimlerinin korelasyonu,
- 2) Resif etütleri,
- 3) İkincil üretim
- 4) Kuyu loglarının yorumu,
- 5) Asitleme ve atış,
- 6) Sondaj güçlüklerinin önceden tahmini,
- 7) Yeraltı haritalarının çizimi (kontur, yapı, izopak, izokor, izotermal, izosperm, izokron, izopotansiyel, litofasiyes, paleojeolojik)
- 8) Diskordanslar,
- 9) Transgresyon ve regresyonlar.
- 10) Çeşitli problemler: Çimentolama (cementing), çelik boru indirilmesi (casing), delik açma, kurtarma (fishing), perforasyon, formasyon suyunun değişimi, porozite-permeabilite değişimleri, karot alma ve formasyon testi.

Petrol aramalarında önemli olan bilgiler ve bu bilgilerin bulunması yöntemleri ise şöyle özetlenebilir:

Aranan bilgi

Formasyon sınırları

Korelasyonlar

Litoloji

Formasyon yaşı

Gözeneklilik

Geçirimsizlik

Akışkan basıncı

Formasyon sıcaklığı

Diskordanslar

Bulma yöntemi

Kuyu örnekleri, karotlar, elektrik logları

Jeofiziksel ölçümler, sondalama süresi, kuyu logu.

Kaliper logu, kuyu örnekleri, karotlar

Karot ve kırıntı örneklerinin paleontolojik Tayini

Karot ve kırıntı örneklerinin laboratuvar analizleri, kuyu logu

Laboratuvar analizi, üretim denemeleri ve sondaj testleriyle

Basınç ölçer

Termometre

Karot ve kırıntı örnekleri, paleontolojik dizilim, stratigrafik eksiklik, kırmızı renkli sedimanlar

II. KUYU MÜHENDİSİNİN GÖREVLERİ

Genel olarak bir kuyu başında sürekli bulunan jeoloji mühendisinin görevlerini iki grupta özetlemek mümkündür: 1) Bilgi toplamak, 2) Rapor yazmak.

Açılan bir sondaj kuyusunun başından sonuna kadar geçirdiği çeşitli aşamaları, bu kuyudan elde olunan tüm bilgileri ve sondaj tekniği bakımından da değişik teknik problemleri günü gününe, bazen de dakikası dakikasına takip etmek lazımdır. Özellikle açılan kuyu bir arama kuyusu ise, yani o bölgede açılan ilk kuyu ise, her türlü bilginin elde edilmesi zorunludur.

Bir arama kuyusunda görev yapan jeoloji mühendisinin yapması gereken işler:

1) Kuyu örneklerinin alınması, hazırlanması ve laboratuara gönderilmesi: Sondaj işlemi devam ederken, kuyu başında görevli mühendisin delinip geçilen her tabakayı anlayıp gerekirse tayin yapabilmesi veya yaptırabilmesi için sürekli örnek alması gerekmektedir. Sondaj çamuruyla gelen kırıntıları elek üstünden geçerken belirli aralıklarla almak gerektir. Eğer petrol bakımından ümitli bir tabaka delinmiyorsa, her 3 metrede bir örnek; petrollü bir tabakaya veya iyi bilinmesi gereken bir seviyeye gelince de her 1,5 metrede bir örnek almak gereklidir.

Çamuruyla birlikte alınan örnek derhal ultraviyole lamba ile muayene edilerek petrol emaresi olup olmadığı kontrol edilmelidir. Daha sonra çamuru yıkanıp kurutulan örnek saklama kaplarına konup üzerine hangi derinlikten geldiği yazılmalıdır.

Bir kuyu örneğinin hangi derinlikten geldiğini tahmin edebilmek için, kuyudaki çamur dolaşımının hızını bilmek lazımdır. Hatta bazen buğday veya arpa taneleri çamura katılandıktan, bir devir yapmaları için geçen zaman hesaplanmak suretiyle de hız ve derinlik hakkında bir fikir elde olunabilir. Modern sondaj makinelerinde bulunan aletlerle derinliği otomatik olarak okumak mümkün olsa da bir sondaj kuyusu ne kadar derine inerse, kuyu örneklerinin hangi derinlikten ve hangi tabakadan geldiğini kestirmek o orantıda güçleşir. Bu nedenle, yapılan derinlik tahminlerini, sonradan o kuyudan alınan elektrik log'u ile karşılaştırmak faydalı olur.

2) Günlük kuyu logları'nın hazırlanması: Kuyu mühendisi, açılan bir arama kuyusu devamınca ve sürekli olarak log'lar düzenler. Bunlar arasında: litoloji, karot örneklerine ait kesitler, elektrik profilleri, kesing (casing) yapılan yerler, formasyon testi yapılan yerler, perforasyon yerleri, sondajın dikeyden saptığı yerler, petrol ve gaz emarelerinin tespit edildiği derinlikler muntazaman bir saydam kağıt üzerine çizilerek gerekirse ozalit kopyaları çıkartılarak istenilen yerlere yollanır. Kuyu logları hazırlanırken aynı işaretler ve renklerin kullanılması gerekir.

3) Karot alma, formasyon testi ve log çıkarılması için tavsiyede bulunmak: Karot alma işlemi pahalı ve zahmetli bir iş olduğu için daima gerekli olduğu zaman alınır. Bu nedenle arama kuyularından alınan karotlar az miktarda olur ve zorunlu olmadıkça karot alınmaz. Karot alındıktan sonra, bunların gereği gibi korunması, etiketlenmesi ve laboratuara gönderilmesi kuyu mühendisinin önemli görevlerinden birisidir. Özellikle petrol veya asfalt belirtisi olan örnekler, permeabilite ve porozite etütlerinin yapılabilmesi için çok iyi

korunmalıdır. Şayet örnekteki sıvı satürasyonu (petrol ve su içeriği) kaybedilmek istenmiyorsa, derhal kapalı bir kavanoz içine veya iyice sarılacak bir kurşun levhaya konmalı ve derhal parafinle her tarafı kapatılmalıdır. Böylece örnek içindeki sıvıyı korumak mümkün olacaktır. Ayrıca örnekte fosil varsa, bunları ayrı bir torba içine koyarak kırılmalarını önlemek gerekir.

- 4) Petrol ve gaz belirtilerinin değerlendirilmesi:** Bir arama kuyusunda petrol veya gaz bulunduğu zaman, veya formasyon testi yapılırken rastlanan bu tür emareleri gerekli kaplarda toplamak ve analiz için laboratuara yollamak kuyu mühendisinin önemli görevlerindendir. Çoğunlukla petrolün gravitesini ve kükürt derecesini ölçecek alet veya imkanlar kuyu başında bulundurulur. Petrol örneklerini mümkün olduğu kadar kuyu içinde almağa (yüzeye çıkmadan önce) çalışmak lazımdır.
- 5) Formasyon testinin yapılmasına katılmak:** Bir kuyuda formasyon testinin yapılıp yapılmamasında kuyu mühendisinin rolü büyüktür. Onun vereceği bilgiler veya yapacağı öneriler üzerine bu test yapılır. Bu nedenle formasyon testi yapılırken jeoloji mühendisinin de kuyu başında olması ve test işlemini dikkatle izleyerek elde edilen sonuçları not etmelidir.
- 6) Civar bölgelerde yapılan sondajları izlemek:** Bir arama sondajı başında görevli jeoloji mühendisi, aynı zamanda kendisinin dahil olduğu veya başka şirketlere ait ve civarda yapılan diğer sondajlarla da ilgilenmek zorundadır. Özellikle yabancı bir şirkete ait sondajlardan elde olunacak bilgilerin mümkün olduğu kadar doğru olarak elde edilmesine gayret etmek, rakip şirketlerin verecekleri kasıtlı yanlış bilgileri toplamamak lazımdır.
- 7) Sondaj yerinin tespitinde yardımcı olmak:** Kuyu mühendisinin doğal görevlerinden birisi de yeni açılacak bir arama veya üretim kuyusunun yerini belirlemede yardımcı olmaktır. Gerçi sondaj lokasyonu işi aynı zamanda petrol veya sondaj mühendislerinin işi ise de, üzerinde kuyu açılması gereken yapının durumunu belirlemek jeoloji mühendisinin işidir. Teknik imkanlar daha iyi diye yapının elverişli olmayan bir yerinde sondaj yapılmasını engellemek jeoloji mühendisinin görevidir.
- 8) Sondaj için güçlük çıkarabilecek tabakaları önceden tahmin etmek:** Bir arama sondajında önceden tahmin edilen derinliğe ininceye kadar kesilmesi gereken formasyonların veya tabaka cinslerinin o sahada detay etüt yapan jeoloji mühendisi veya jeofizikçilerin verecekleri kesitte gösterilmesi zorunludur. Ancak bu kesitler genel mahiyette olduklarından sık sık revizyona tabi tutulması, özellikle tahmin olunan tabaka kalınlıklarının sondaj ilerledikçe gerçeğe uydurulması jeoloji mühendisine düşen bir görevdir. Aynı şekilde, sondajın gidişine ve mühendisin elindeki tahmini kesite göre, bazı önemli tabakaların veya seviyelerin sondör'e önceden haber verilmesi gereklidir. Örneğin, su veya çamur kaçırma olasılığı olan bir tabakanın hangi derinliklerde ve ne kalınlıkta kesileceğini sondör önceden bilmeli ve ona göre önlem almalıdır. Keza çok sert, matkap yıpratıcı tabakaların delineceği kesim önceden biliniyorsa, sondör gereken tipte ve sayıda matkapı önceden temin edebilir; aynı şekilde sondaj zorlukları yaratması tahmin edilen durumlar için gerekli önlemleri alabilir.

9) amurun tuzluluk derecesini ve su kayıplarını tespit etmek: Bir sondaj yapılırken, sondaj çamurunun tuzluluk ve su içeriğini tespit etmek, delinecek tabaka türlerine ve yerine göre ayarlamak kimya mhendisiyle birlikte sondaj mühendisinin asıl görevidir. Ancak sondaj esnasında, çamurda beliren tuzluluk derecesinin değişimi ve su miktarının artışı veya azalışı ile jeoloji mühendisinin yakından ilgilenmesi, bu değişiklikleri kendi hazırladığı kuyu log'u üzerine not etmesi gerekir. Böylece sondajın delip geçtiği formasyonlar hakkında daha doğru bilgiler elde eder ve sondre de faydalı önerilerde bulunur.

10) Yapılacak jeolojik ilerlemeler hakkında zet halde rapor vermek: Kuyu başında görevli jeoloji mühendisi, gerek sorumlusu olduğu kuyudan ve gerekse civardan topladığı jeolojik bilgileri zaman zaman, genellikle haftalık zet bilgiler halinde merkeze iletmesi lazımdır. Bu raporların verilmemesi veya geç gönderilmesi, arama yapılan alanın jeolojik açıdan değerlendirilmesini geciktirir, lüzumsuz yere para ve emek sarfına neden olur.

11) Petrol mühendisi ile işbirliği ve laboratuvarlarla temas: Kuyuda görevli jeoloji mühendisi, sondajın başlangıcından sona ermesine kadar sondajda teknik işlerle sorumlu olan petrol mhendisiyle sıkı bir işbirliği kurmak zorundadır. Çünkü bilinmeyen yeraltına ait bilgileri elde etmek, ancak ilgili bütün bilim ve teknik adamların işbirliğiyle mümkün olur. Jeoloji mühendisinin sürekli ilişki halinde olması gereken bir diğer yer de, yeraltı bilgilerinin değerlendirildiği laboratuvarlardır. Kuyudan topladığı örnekleri, çeşitli analiz ve tayinler için laboratuvara yollama işi jeoloji mühendisine ait olduğuna göre, bu gibi laboratuvarlarla sıkı ilişkide olması onun en önemli görevlerinden biri olmalıdır.

III. YERALTI JEOLJİSİ LABORATUAR YÖNTEMLERİ

Bu bölümde daha çok petrol aramalarında büyük önemi olan ve laboratuarlarda yapılabilen analiz veya tayin yöntemlerine değinilecektir. Bu analizlerin tümünü bir laboratuarda yapma imkanı her zaman mümkün olmayabilir. Özel analizler için gerekli olan bazı aletler çok pahalı olduğu için bu tür analizler ilgili laboratuarlarda yaptırılabilir. Hidrokarbon aramalarına yönelik kaynak kaya analizleri; piroliz (rock-eval analizleri), gaz kromatografi (GC), gaz-kütle spektrometre (GC-MS) ve diğerleri, hazne kaya analizleri de taramalı elektron mikroskop (SEM) ile yapılır. Bu bölümde özellikle petrol hazne kaya ilgili analizlere değinilecektir. Yapılacak analizler şöyle sıralanabilir.

III.1. Kuyu örneklerinin tayini ve özelliklerinin bulunması.

Bu incelemeler binoküler, optik ve elektron mikroskoplarla yapılır. Kuyu örnekleri tayin edilirken daima bir sıra takip edilmeli ve bu sıra hiç değıştırilmemelidir. Örneklerin tayininde şu sıra izlenmelidir:

- Litolojinin tespiti (kumtaşı, şeyl, kalker gibi)
- Renk
- Taşın yapısı ve gözenekliliği (porozite); tane büyüklüğü, değişik kumtaşlarının belirlenmesi, şeyllerde tabakalanma ve sertleşme dereceleri, taşın ara maddesini (matriks) oluşturan maddenin yapısı ve karakteri, karbonatlı taşlarda porozitenin ne şekilde olduğu gibi.
- Çimento (kalkerli, silisli, killi gibi)
- Aksesuar (tali) mineraller,
- Fosiller,
- Hidrokarbon emareleri; aynı zamanda karbon tetraklorür ile yapılan kesme (cut) tecrübesi ve kesme floresansı'nın tahmini.

Bunlardan başka her örnek parçasını 1/10 luk HCl asit ile yoklamak lazımdır. Taş üzerinde meydana gelecek olan köpürmenin az veya çok oluşuna göre, o taşın içinde kalker veya dolomit mevcut olup olmadığı tahmin edilebilir. Asitle işlem yapıldıktan sonra, asitle erimeyen kalıntının incelenmesi de bazen değerli bilgiler verebilir. Özellikle killi kalker veya dolomitlerde kil ile ağır mineralleri, jips ve çörtü bu yoldan tayin etmek mümkündür.

Asit ile işlem gören örnekte eğer bir miktar petrol varsa, bu taktirde taşın köpükleri daha büyük kabarcıklı olurlar. Gerçi bu metod ancak yaklaşık olarak petrol emaresini gösterse de oldukça faydalıdır.

Bir örneğin incelenmesi sırasında yapılan gözlemlerin en önemlilerinden biri de gözenek (porozite) varlığının tespitidir. Eğer örnekte porozite tespit edilmişse, mutlaka porozitenin tarifi çok iyi yapılmalı ve ister gözle görülsün, isterse görülmesin porozitesi olan her örnek için CCl₄ ile "kesme tecrübesi" yapılmalıdır.

III.2. Detritik mineral analizi.

Kuyu karot ve kırıntı örneklerinin petrografik ve mineralojik etüdünü yapmak için kullanılan metodlara genel olarak detritik mineral analizi adı verilir. Mineralojik etütleri hem makroskopik hem de mikroskopik olarak tayin etmek gerekir. Bunlara ek olarak basit kimyasal analizlerden ve diğer fiziksel testlerden de faydalanmak mümkündür.

Kuyu örneklerinin mineralojik tayini yapılırken bazı özelliklerin bilinmesinde ve bunların gerektirdiği bir veya birkaç metodun birden uygulanmasına ihtiyaç olabilir. Her zaman ve her yerde aynı metodu kullanmak mümkün olmayabilir, veya aynı metotla başka başka yerlerde değişik sonuçlar elde edilebilir. Mesela incelenecek örneğin hangi sondaj yoluyla elde edildiğinin önemi büyüktür. Rotary ve darbeli sondaj örnekleri başka başka olabileceği gibi, karot ile elde edilen örnekler tamamen farklı bir karakter taşıyabilir.

Genelde binoküler ile yapılacak mineral tayinleri yeterli olabilir. Bir veya birkaç tayin veyahutta bir seri tayinler yapmak amaca uygun olabilir. Bu gibi durumlarda başka metotlara başvurup zaman ve para sarf etmek gereksizdir. Çünkü basit birkaç tayinle gerekli korelasyonu yapmak mümkün olabilir. Ancak bu basit tayinlerin yetmediği yerde, basitten ve kolayından başlamak üzere, daha fazla zaman ve para isteyen diğer metotlara yönelmek lazımdır.

Çeşitli kuyu örnekleri ve özellikleri:

Yukarda da sözü edildiği gibi kuyulardan elde edilen örnekler rotary, darbeli sondaj veya karot alma yoluyla elde edilebilir. Her üç şekilde de elde edilen örneklerin kendilerine göre bazı özellikleri olup, bunları bilmekte fayda vardır.

Rotary sondaj: Rotary sondajında, çelik bir matkap aşağıya doğru itilir ve aşındırma yoluyla örnek elde edilir. Sondaj çamurunun devir yapması ile de, tabanda kesilen taş parçaları yüzeye çıkar. Yeryüzündeki sallayıcı (shaker) tabla üzerinde çamurdan ayrılan parçalar belli aralıklarla alınarak tayine yollarır.

Bu yöntemle elde edilen kırıntı örneklerinin şu özellikleri vardır ve bu özellikleri dolayısıyla da her zaman iyi sonuç alınmaz., sınırlı olarak fayda sağlar:

- Çimento maddesi az veya hiç olmayan, killi veya şeylli tabaka kırıntıları sondaj çamuru içinde parçalanır. Hatta kısmen de çamurun içine karışır. Bu durumda yüzeyde elde olunan örnek, esas tabandaki kayacı temsil etmeyebilir. Bu sakıncayı önlemek için bazan sondaj çamuru ile gelen kırıntılar başka bir kap içinde toplanır, iyice çökeldikten sonra çamur yıkanarak geriye örnek bırakılır.
- Genelde rotary ile açılan kuyularda çelik boru konması (casing) sondaj tamamlandıktan sonra yapılır. Bu durumda yukarı tabakalardan göçük olma olasılığı yüksektir. Özellikle çamurun özelliği iyi kontrol edilmezse göçük olayı çok sık olur.
- Küçük ve büyük parçalarla, yoğunluğu değişik olan parçalar yukarıya ayrı ayrı hızlarla taşınacaklarından, çeşitli seviyelere ait kayaç örneklerinin bir arada karışık olarak yüzeye çıkması mümkündür.

- Matkapla kesilen parçaların yüzeye kadar çıkmaları için belirli bir zamanın geçmesi gereklidir. Derinlik kontrolü ve doğrulaması yapılmayan kuyularda örneğin hangi gerçek derinlikten geldiğini tespit etmek çok güçtür.
- Matkap kırıntıları genel olarak 9 mm den küçük taneler halinde yüzeye çıkar. Bu da kayacın tayininde bazı özelliklerin tam olarak belirlenmesinde büyük engel olabilir.

Darbeli sondaj yoluyla elde edilen örnekler, bir çelik halata bağlı ağırlığın kaldırılıp bırakılması sonucunda tabanda toplanır ve daha sonra kaşıkla (bailer) yukarıya çıkarılır. Her seferinde yaklaşık 1 veya 1,5 metrelik bir taş kalınlığı delindikten sonra örnek kaşıkla yukarıya çıkarılır. Darbeli sondaj örneklerinin aşağıdaki özellikleri nedeniyle yararlanma olanakları sınırlıdır.

- Genel olarak her darbeli sondajda üst seviyelerden göçen parçalar bulunur. Özellikle kesici ağırlığın inip çıkması sırasında tabandan başlayarak yukarıya doğru 2-3 metrelik tabakaların kırıntıları örneklere karışır. Ancak buna rağmen darbeli sondajda elde edilen örnekler, rotary sondajla elde edilen örneklerden daha iyi olup, esas tabakayı daha iyi temsil ederler.
- Sondaj kablounun uzaması ile, sondaj derinliklerinin 5-6 metreden fazla yanlış olması mümkündür. Ara sıra çelik boru sarkıtılarak ölçme yaparak bu hatayı düzeltmek mümkündür.
- Örnekler genel olarak 9 mm den küçüktürler.
- Çelik boru döşenmiş kuyularda elektrik logu alma imkanı olmadığı için, örnek etütleri için yardımcı bir metot yoktur.
- Darbeli sondajı yapan sondörler genel olarak rotary sondörleri gibi dikkatli olmazlarsa, örneklerin çıkarılmasında ve korunmasında birçok hatalar işlenebilir.

Karot, rotary ve darbeli sondajlardan veya özel karot alma aletlerinden yararlanılarak elde edilir. Karot almanın sakıncaları şunlardır.

- Yüksek maliyet,
- Zayıf ve eriyebilen örnek parçalarının karotla birlikte gelmemesi,
- Karotların korunması ve nakliyesi.

Elde edilen karot veya kırıntı örnekleri incelenirken hem gözle hemde binoküler mikroskop veya optik mikroskopla çalışmak gerekebilir. Bu örneklerle yapılabilecek analizler şunlardır:

- Kimyasal değişimler,
- Petrografik bulgular (kantitatif)
- Tane boyu analizleri,
- Boylama,
- Yuvarlaklık,
- Taneler arası dokanak türü,
- Kumtaşları ve kireçtaşlarında değişim özellikleri ve değişim mineralleri,
- Gözeneklilik tipleri,
- Sedimanter yapılar,
- Hidrokarbon emareleri,

- Kırıntı ve karot örneklerinin makroskopik özellikleri
- Porozite

III.3. Ağır Mineral Analizleri

Yoğunlukları (özgül ağırlık) 2,86-2,96 arasında olan minerallere ağır mineral denir. Az miktarda bütün kumlar ve kumlu kalkerler içinde bulunurlar. Ağır mineraller içinde en çok görünenler turmalin, zirkon, granat, staurolit ve çeşitli piroksen ve amfibollerdir. Farklı yoğunluklara sahip ağır mineralleri farklı yoğunluktaki sıvıları kullanarak ayırmak mümkündür. Ayrılan ağır minerallerden ince kesitler yaptırılarak her bir mineral optik ve mineralojik özelliklerine göre tayin edilebilir.

Ağır mineralleri stratigrafik birimlerin korelasyonunda ve tanınmasında kılavuz olarak kullanmak mümkündür. Ayrıca yapılan analizlerle kayacın kaynak alanları da belirlenmiş olur.

- Benzer minerallerin boyutları arasında büyük farklılık bunların kaynaklarının farklı olduğunu gösterir
- Bir sediman içindeki ağır minerallerin çeşitleri bunların hangi kökenden geldiğini gösterir. Mesela: Andaluzit, staurolit ve sillimanit mineralleri metamorfik kökeni gösterir. İlmenit, zirkon, rutil, apatit, olivin, titanit ve bazı turmalinler olası bir magmatik kökeni gösterir.
- Çok yuvarlanmış herhangi bir ağır mineral, sedimanter kökeni gösterir.

III.4. Erimeyen Kalıntı Analizleri

Örnekleri asitlerle (HCl, H₂SO₄) muameleye tabi tuttukten sonra erimeyerek geride kalan kayaç kırıntılarına verilen analiz çeşididir. Erimeyen artıklar içinde kil, pirit, jips, anhidrit, ve glokon gibi maddelerde varsa da daha ziyade kuvars, kalsedon, silis, çeşitli kuvarslar ve bir de alüminyumlu maddeler önemlidir. Bu analizlerde % 10 - % 15 lik asitler kullanılır. Uygulama esnasında deneyin ısıtılması reaksiyonu hızlandırır. Kalıntılar arasında en diagnostik olanı çört tür. Dokusu, rengi, saydamlığı, parlaklığı ve kristalleşme derecesi gibi özellikler çörtleri birbirinden ayırmağa ve dolayısıyla korelasyona yarar.

III.5. Renk Analizi

Bu tür analizler çeşitli sıvılar yardımıyla parlatılmış taş yüzeyi veya ince kesit yüzeylerinde uygulanabilir. Özellikle karbonatlı kayaçları oluşturan mineraller ve feldspat çeşitleri için geliştirilmiş sıvılar mevcuttur. Bu sıvılar yardımıyla kayaç içindeki mineral çeşidi ve yoğunluğu tespit edilebilir.

- Kalsit ile Aragonit'in ayrılması: Parlatılmış taş yüzü veya ince kesit 20 dakika süre ile kaynayan kobaltnitrat solüsyonu içine sokulur ve meydana gelen renk incelenir.

Aragonit: başlangıçta açık pembe, sonraları menekşe rengini alır

Kalsit: aynı renkleri saatler sonra alır.

Kalsit ve aragonit taneleri birbirine karışmış ise, oluşan renkler (lekeler) etrafa taşacağı için bunları ayırmak güç olur. Bu taktirde, kobaltnitrat ile işlem görmüş aragonit amonyum sülfür içine batırılırsa, tanelerin siyah kobaltsülfür ile kaplandığı görülür.

III.6. Su Analizi

Sondaj yapılan bölgelerde veya petrol ve gaz üretilen sahalarda çıkan suların analizi ve korelasyonu ile petrol aramalarına ve üretimine büyük yararlar sağlanabileceği bilinmektedir.

Kapanlar içinde birikmiş olan petrole beraber bir miktar su da bulunur. Bilhassa yoğunluk farkı nedeniyle en alttan başlayarak yüzeye doğru su/petrol/gaz dizilimi oluşur. Bu sular tuzlu olup yüzey sularından farklıdır. Aynı bir petrol düzeyinin veya zonunun suları, bazen geniş alanlar içinde farklılık göstermez. Su çeşitlerinin saptanması ve korelasyonu etütlerde çok yararlı olur. Bilhassa ilerde açılacak kuyularda aynı tip sulara erişilebilecek derinlikler tahmin edilerek yeni petrol birikim alanları belirlenebilir.

III.7. X-ışını ve Diferansiyel Termik analizler

Bu analizler gerek kayalara gerekse de kil minerallerine uygulanabilir. Bilhassa kil mineralleri çok iyi kantitatif neticeler verir. Bunların yapılması masraflıdır ve yorumlanması özel bilgi gerektirir. Bu tür analizler için geliştirilmiş modern cihazlar mevcuttur. Kil minerallerinin tayini petrol jeolojisi için özel bir önem ve anlam taşır. Kil mineralleri, çökeltme ortamlarının belirlenmesi ve organik maddenin olgunluk derecesinin bulunmasında yardımcı olurlar. Petrol hazne kayacının gözeneklerinde gelişen ve olumsuz etkileri olan ikincil kil minerali oluşumları da bu yöntemle belirlenebilir. Ayrıca kil mineralleri korelasyon aracı olarak kullanılabilir. Bu da stratigrafik amaçlı araştırmalar için kullanılabilir.

III.8. Flüoro-Analizi

Işık enerjisi etkisinde kalan cisimler iki çeşit ışın yayarlar. Bunlardan birincisi **flüoresans** diğeri ise **fosforesans**dır. Fosforesans ışık yayan cisimler ışık kaynağı etkisi ortadan kalktıktan sonra ışık vermeye devam ederler.

Petrolün flüoresans özelliği de çok eskiden beri bilinmektedir. Yüzeye çıkartılan petrol ışık etkisi altında yeşilimsi bir renk verir. Eğer ışık içinden geçerse renk kırmızımsı olur. Bu renklerde biraz değişiklikler görülebilir. Fakat aynı bölgenin petroleri aynı renkleri gösterirler.

Ultraviyole ışınları, bu amaçla karanlık bir odada ultraviyole ışın saçan bir kuvars lambası kanalıyla bu örnekler üzerine gönderilir. Fakat örneklerin daha önceden organik çözücülerle analiz edilmesi gerekir. Bu yolla örnekler içinde petrol olup olmadığı anlaşılır.

Ultraviyole ışınları sayesinde örnekler içinde mevcut olan çok az miktardaki petrol dahi tespit edilebilir. Burada esas prensip hidrokarbonların organik çözücülerle muamelesi, çözülmesi ve ultraviyole ışın altında renk vermesi prensibine dayanır.

Bu yolla flüoresans mikroskopları da geliştirilmiştir. Bu yöntemlerle tespit edilen petrol emareleri için bir kuyuya ait olmak üzere Flüorologlar hazırlanabilir. Bu şekilde petrol konsantrasyonları belirli bir sınırın üstüne çıkan yerler tespit edilerek petrollü zonun bulunmasına çalışılır. Kuyular için hazırlanan Flüorologlar yüzeyden petrollü zona doğru gittikçe artan oranlarda petrol gösterirler. Bu petrol konsantrasyonunun artışı üretim kapasitesi hakkında da bilgi verir.

Arazide uygulanan bir diğer yöntemde örnekler kırılıp toz haline getirildikten sonra bir tüp içine alınır ve üzerine kloroform veya karbontetraklorür (CCl_4) ilave edilir. Eğer örneklerde

petrol veya petrol artığı varsa organik çözücüler vasıtasıyla çözülür ve koyu siyah bir renk verir.

Laboratuarlarda kayaç içinde bulunan petrol soksolet cihazı yardımıyla damıtılır ve elde edilen ürün modern organik jeokimyasal analizlere tabi tutulur. Bu yolla da örnekler içindeki petrol miktarı ve bileşimi bulunabilir.

III.9. Elektron Mikroskopla Yapılan Tayinler

Elektron mikroskopu çok iyi geliştirilmiş bir mikroskop olup çok pahalıdır. Büyütmesi normal mikroskopun büyütme kapasitesinden çok daha fazla olup 100.000 defaya kadar varabilir. Elektron mikroskopu yardımıyla çok küçük taneler, yani atom boyutundaki taneler incelenebilir. Bu nedenle bilhassa kil minerallerinin yapısı ve tayini için çok ideal bir araçtır.

III.10. Karot Analizi

Hidrokarbonların aranması, işletilmesi ve rezerv hesaplarında karotlar çok önemlidir. Karot analiz sonuçları birimin üretim kapasitesi hakkında bilgi verdiği gibi, formasyonun yapıdaki yeri ve kaya cinsinin belirlenmesinde de önemli yararları vardır. Petrol hazne kaya analizlerinin yapılması ve değerlendirilmesinde karot analizlerinin önemi büyüktür. Karotlar genellikle kumlu ve karbonatlı birimlerden alınır. Çünkü bu kaya türleri petrol hazne kayaları olarak en ideal olanlarıdır. Karot analizi denince aklımıza aşağıdaki analiz türleri gelmelidir:

- Gözeneklilik,
- Geçirgenlik,
- Kılcallık,
- Satürasyon (petrol, gaz ve su doygunluğu),
- Tane boyu,
- Yuvarlaklık-Tane tene ilişkisi,
- Boylanma,
- Litolojik özelliklerin belirlenmesi,
- Değişim özelliklerinin belirlenmesi,
- Sedimantolojik özellikler,
- Gözeneklilik tipleri,
- Fosil kapsamı,
- HCl emarelerinin tayini.

Karot alma işi zaman ve para isteyen bir çalışmadır. Bu nedenle karotların değerlendirilmesi ve muhafazasında gerekli özen gösterilmelidir.

III.11. Mikropaleontolojik Tayinler

Kuyu korelasyonlarda kullanılan en emin yöntemlerden biridir. Fosillerin belirli yaşları göstermeleri ve bunlar içinde yaşadıkları sonrakı yok olmaları, tabaka ve formasyonların karşılaştırma ve korelasyonunda çok büyük rol oynarlar. Hatta paleontolojik veya mikropaleontolojik yollardan doğru bir korelasyon yapmak mümkün olursa, aynı amaç için kullanılan diğer bütün yöntemlerden vazgeçilebilir. Ancak paleontolojik veriler bulunmadığı veya yeterli olmadığı durumlarda diğer tayinlere başvurulur.

Mikrofosillerin korelasyondaki yerleri çok önemlidir. Çünkü bunları Prekambriyenden başlayarak günümüze kadar her türlü sedimanter kayaç içinde bulmak mümkündür. Mikrofosiller sayesinde formasyonları değişik zonlara bölmek ve detaylı olarak etüt etmek mümkün olmaktadır.

Mikrofosilleri etüt etmek için bunların şekillerini, grup halinde yaşayışlarını ve organizmalarını tanımak gerekir. Binlerce çeşit mikrofosil olduğuna göre, bunların etüdü ve bu sayede korelasyon yapılabilmesi paleontologların en önemli vazifesidir. Nitekim kuyu mühendislerinin yaptığı korelasyon paleontologlardan gelen tayin raporlarına dayanır. Böyle bir raporda, örnek içindeki mikrofosillerin isimlerinin tayini ile yetinilmez ayrıca bu fosillerin sığ-su, deniz gibi ortamlardan hangisinde yaşamış olduğu da belirtilir.

Bu sayede etüdü yapılan sedimanların hangi ortamlarda ve hangi koşullarda depolandıkları, petrol bakımından ümitli olup olmadıkları tahmin edilebilir.

Üç türlü mikrofosil mevcuttur: 1) Hayvan mikrofosilleri, 2) Bitki mikrofosilleri, 3) Kökeni belli olmayan mikrofosiller.

En fazla görülen hayvan mikrofosilleri arasında:

- b) Foraminiferler: Küçük, tek hücreli hayvanlar, çoğunun kireç yapılı kabukları vardır (0.01-10 mm).
- c) Radiolialar: Sferoid, yıldızlı veya çan şeklinde hayvancıklar olup çoğunun silisli veya stronsiyum sulfatlı kabukları vardır (0.1-0.5 mm),
- d) Ostrakotlar: Küçük çift kabuklu, özellikle denizel olmayan tabakalar içinde bulunur (0.2-2 mm).
- e) Konodontlar. Diş biçiminde fosiller olup özellikle Paleozoik yaşlı kayaçlarda bulunur (1-2 mm).

En çok işe yarayan bitkisel fosiller:

- a) Kokolitler: Özellikle Mezozoik yaşlı kayaçlar içinde görülen tabak şekilli planktonlardır.
- b) Şarofitler (Charophytes): Devoniyenden günümüze kadar gelen alg cinsi fosillerdir.
- c) Diatomlar: Silisli hücre çeperine sahip, alg cinsinden ve iki tane üst üste gelmiş parçadan ibaret fosil (0.1-0.15 mm).
- d) Spor ve polenler: Bitkilere ait sporlar ve polenlerdir. Kitinli maddeden yapıldırlar.

Yukarda sayılan mikrofosiller içinde en faydalı olanlar foraminiferlerdir. Ancak spor ve polenler son zamanlarda daha faydalı olmaya başlamıştır. Çünkü foraminiferler sadece deniz sedimanlarında bulunurken, spor ve polenler hem denizde hemde karada meydana gelmiş formasyonlar içinde bulunabilmektedir. Bunlar rüzgar ve böceklerin yardımıyla çok uzaklara taşınabilmektedir. Bu nedenle korelasyon için büyük kolaylık sağlarlar.

IV. YERALTI HARİTA ÇEŞİTLERİ

Kuyu logları, yeraltı jeolojisinin aydınlatılmasında oldukça önemlidir. Kuyu logları, ortam analizlerinde, fayların ve diskordansların belirlenmesinde, kalınlık ve litofasiyes haritalarının yapılmasında temel veri olarak kullanılabilir. Kılavuz seviyelerin yardımıyla da litostratigrafik korelasyon yapılması yanında göç modelleri oluşturulabilir. Böylece birikme alanlarının belirlenmesinde de yardımcı olur. Kuyu verileri yardımıyla hiç mostra vermeyen bir bölgede veya sahada korelasyon yöntemiyle jeolojik harita yapma olanağı da vardır. Jeofizik yöntemlerle elde edilen verilerden de yeraltı haritaları yapılabilir. Bu veriler sismik, gravimetrik ve manyometrik ölçümlerdir.

Yeraltı haritalarının o bölgenin jeolojisine katkısı büyüktür. Bu haritalar sayesinde örtü altındaki kayaçların konumu, derinliği belirlenebilmektedir. Yeraltındaki jeolojik birimlerin konumlarına göre değişik haritalar yapılmaktadır. Bu haritaların bir bölümü de üretime yöneliktir. Yeraltı harita çeşitleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

1. Yapı kontur haritası
2. İzopak (gerçek kalınlık) ve izokor (zahiri kalınlık) haritaları
3. Fasiyes haritaları
 - Litofasiyes haritası
 - Biyofasiyes haritası
 - İzofasiyes/izolitoloji haritası
4. Paleojeoloji haritası
5. Jeofizik haritası
6. Jeokimya haritası
7. Rezervuar bilgileri veren diğer haritalar
 - Gözeneklilik ve geçirgenlik haritası
 - Basınç haritası İzobar haritası
 - Su konsantrasyonu haritası
 - Sıcaklık haritası
 - Petrol-gaz oranı haritası
 - Özgül ağırlık haritası
 - İzokonsantrasyon haritası.
8. Jeolojik bilgi veren diğer haritalar
 - Paleolitoloji haritası
 - Paleocoğrafya haritası
 - Paleotektonik haritası
 - Yüzde haritası
 - Paleotopoğrafya haritası

IV.1. Yapı Kontur Haritaları

Bu haritalar yapının şeklini göstermesi bakımından önemlidir. Bir yapı üzerinde kontur haritası, bu yapıyı kesen birçok yatay düzlemin ara kesitlerinden ibarettir. Konturların yanına yazılan rakamlar yapıyı kesen düzlemlerin deniz seviyesine göre derinliklerini gösterir. Yapı haritalarının şekli alttaki yapının şeklini yansıttıkları için önemlidir. Bir yapı kontur haritası için referans yüzeyi güvenilir bir stratigrafik seviye olmalıdır. Mümkünse üretici zonun üstünde bulunmalıdır. Bu haritalar için belli bir ölçek yoktur. Harita ölçeği ihtiyaca ve amaca göre seçilir. Yeraltı haritaları tanınabilen ve korelasyonu mümkün olan formasyon, katman sınırı veya diskordans yüzeyi baz veya kılavuz seviye olarak alınmasıyla çizilebilir. Yapı, eş

yükselti eğrileri veya kesitleriyle gösterilebilir. Deniz seviyesi üstündeki düzlemler (+) işaretlenir. Deniz yüzeyi altındakiler için (-) eksi işareti konulmalıdır. Yapı kontur haritalarının çiziminden önce yapı kesitleri çizilmelidir. Yapı kesitleri kuyu verilerinden yararlanılarak yapılır. Bu kayaçların bugünkü durumlarını yansıtır. Bu yapı kesitlerinde de deniz yüzeyleri baz olarak alınır.

Yapı haritalarında kontur aralıkları veya eş yükselti arasındaki aralıklar eldeki mevcut bilgilerin güvenilirliği ve amacına göre 10-15-50-100 m aralıklarla çizilebilir.

Yapı kontur haritalarının çiziminde, deniz seviyesine göre katmanın veya formasyonun üst yüzeyinin alınması mümkün olduğu gibi bir diskordans yüzeyi de baz seviyesi olarak alınabilir. Yapı kontur haritalarının çiziminde kuyu verilerinin kullanılması halinde daha sağlıklı sonuçlar elde edilir.

IV.1.1. Yapı kontur çizme yöntemleri:

Yapı konturu çizilecek seviyenin derinliği korelasyondan veya açılan kuyu verilerinden elde edilebilir. Her kuyu lokasyonuna bulundukları yerin altındaki deniz seviyesi derinliği yazılır. Şayet kuyu yönlü olarak açılmışsa bu durum kontrol noktası olarak hakiki yeraltı değerlerinin, yatay projeksiyonu yapılarak alınmalıdır. Mevcut derinlik değeri gerçek dikey derinlik değerine çevrildikten sonra korelasyon ve yapı haritaları için kullanılmalıdır.

Yapı haritalarının çiziminde yapıyı etkileyen faylanmalar da göz önünde bulundurulmalıdır. Yapı kesitleri çizimi esnasında yapıyı etkileyen faylanmalar elbette gösterilmiş olacaktır. Bu faylanmanın yapı konturu çizilerek birimin yüzeyini kestiği yerin yatay düzleme iz düşümü alınarak belirlenebilir. Yine bu yerdeki baz seviyesi deniz seviyesi olabilir. Bir birimin yapı haritasını çizmek için kuyu verilerinden yararlanılarak değişik yönlerde yapı kesitlerinin çıkartılması gereklidir. Mümkünse bu yapı kesitleri jeofiziksel yöntemlerle (sismik ölçümler) de kontrol edilmelidir.

Elde edilecek yapı kesitleri yardımıyla arzu edilen seviyenin veya formasyonun yapı haritasını çıkarmak çok kolay olacaktır. Bu yöntemle profil kesme metodu denir. Ayrıca kuyuların açıldığı alanlarda katmanların doğrultu ve eğimlerinden yararlanmak suretiyle yapı kontur haritaları çizilebilir. Petrol aramacılığında yapı kontur haritaları petrol kapanlarının şeklinin saptanması bakımından önemli bir yer tutar. Kuyu verilerinden ve özellikle de log verilerinin değerlendirilmesiyle daha sağlıklı yapı kontur haritaları çizilebilir.

Bir yeraltı haritasının yapımında ilk iş kılavuz seviyenin deniz yüzeyine göre yüksekliğini bulmaktır. Kuyunun kılavuz düzeyine olan derinliği ve topoğrafik yükseltisi bilinmelidir. Bu bilgi sondaj yapılmış kuyudan gelir. Kılavuz düzeyinin yapısal konumu formasyonun rastlanan derinlikten yüzey yükseltisini çıkarmak suretiyle bulunur. Eğer seviye deniz seviyesi üzerinde ise haritadaki değerler pozitif (+), eğer kılavuz düzey deniz seviyesinin altında ise haritadaki değer negatif (-)'tir. Kontur noktalarını tespit ederek konturlamayı tamamlamak için üç metot kullanılmakta olup bunlar:

- a) Mekanik konturlama (objective-mechanical counturing),
- b) Eşit ara uzaklık verme (parallel counturing),
- c) Yorumlayıcı konturlama (interpretive counturing).

- a) **Mekanik konturlama.** İki belli nokta arasındaki düşey yükselti değişik olabilir. Belli olan iki nokta arasındaki yükselti farkı, seçilen konturlar arasındaki uzaklığın gerektirdiği birim sayısına göre yatay harita uzaklığı buyunca düzenli olarak dağıtılır. Eşit yükselti noktaları birleştirilerek konturlar çizildikçe yapı ortaya çıkar.
- b) **Eşit ara uzaklık verme.** Bu metot az sayıda başlangıç değerleri bulunan yerler için uygulanan bir konturlama metodudur. Kuyular birbirine çok yakın oldukları zaman tabakaların eğim dereceleri belirlenebilir. Konturlara eşit aralık verme yöntemi eğimin değişmediği varsayımına dayalıdır. Şayet bilinen üç nokta kuralına göre eğim belirlenebiliyorsa eğim değerleri değişiklik göstermez.
- c) **Yorumlayıcı konturlama.** Eğer veriler yeterli sayıda bulunmazsa yorumlayıcı konturlama yapı haritaları için tercih edilen bir yöntemdir. Konturlanan bölgenin yapı örneklerini göstermek amacıyla çizilir. Veriler ne kadar seyrek olursa yorumlamalar o oranda sağlıklı olur.

IV.1.2. Faylı yapıların konturlanması

Faylanmaya uğramış birimlerin konturlanmasında, hem kılavuz seviyenin hem de faylanma düzleminin konturlanmasında birçok karmaşık problem ile karşılaşmaktadır. Fay düzlemi düşey olan faylanma izi konturlu harita üzerinde kalın bir çizgi ile gösterilir. Eğer fay düzlemi eğimli ise faylanmanın gösterilmesi için iki paralel çizgi gereklidir. Bu çizgiler yükselmiş ve alçalmış blokların sınırlarıdır. Ters faylanmalarda yükselmiş bloktaki konturlar alçak bloktaki konturların üzerine gelir. Normal faylanmada ise bir ayrılma söz konusu olup, yükselmiş blokta fay izi daha kalın bir çizgi ile belirtilir. Eğer düşen bloğun faylanma düzlemi altındaki konumu gösterilmek isteniyorsa kesikli çizgi kullanılır.

Tektonik alanlarda sondajlarla yeterli sayıda kesme noktası saptanmış ise fay düzleminin konturlanması tıpkı bir kılavuz seviyesinin konturlanması gibi yapılır.

IV.2. İzopak ve İzokor Haritaları

İzopak ve izokor haritaları kalınlık gösteren haritalardır. Bir formasyon veya önemli bir katmanın kalınlık konturları çizilebilir. Gerçek kalınlıklar kullanılarak yapılan haritalara **izopak**, zahiri kalınlıklar kullanılarak yapılan haritalara ise **izokor** haritalar denir.

İzopak haritaları jeolojik gelişmeler hakkında önemli ip uçları verebilir. İzokor haritaları ise daha çok rezervuar hesaplarında yani hacim hesaplamalarında kullanılır. Katmanların hemen hemen yatay olduğu alanlarda her iki harita aynı değerlere sahip olur. Her iki haritanın önemi nedeniyle zahiri kalınlıkların gerçek kalınlıklara çevrilmesi için tablolar kullanılır. Bu dönüşümde katman eğimlerinin dereceleri rol oynar. Bunları matematiksel yolla hesaplamaya gerek kalmadan eğim açılarının değerleri dikkate alınarak tablolardan okunur.

Bu haritaların çiziminde amaca göre ölçek seçimi yapılır. Önemli çalışmalar için daha küçük ölçeklerin alınması yararlıdır. Yine bu haritaların çiziminde seçilen zonun alt ve üst sınırları dikkate alınarak kalınlıklar çıkartılır.

Eğer bir ortamda alt alta bulunan iki formasyon veya birimin yapı haritaları çizilmişse bunlardan yararlanılarak kalınlık haritaları çizilebilir. Bunun için her iki harita üst üste çakıştırılır ve kesişen yapı eğrilerinin değerleri birbirinden çıkartılarak kalınlıklar bulunur.

Çizilen kalınlık haritalarının gerektiğinde değişik renklerle boyanması ile daha iyi görünüm elde edilir.

İzopak ve izokor haritaları tabaka kalınlıklarını göstermekle beraber, bu tabakanın şeklini göstermezler. Harita üzerindeki değerlere uygun ayrı şekilleri yorumlamak mümkündür. Bu duruma genellikle mercekli yapıya sahip tabakalarda rastlanır.

Denizel, sahil ve deltalarda çökelen sediman yüzeyleri genelde düzdür. Bu nedenle kalınlık haritaları eski yapının belirlenmesi açısından önemlidir. Sedimanların depolanması sırasında meydana gelen faylar nedeniyle düşen bloklarda kalın sediman istifleri görülürken, depolanma sonrası oluşmuş faylanmalarda kalınlıklarda bir farklılık görülmez.

İzopak haritaları yapısal geçmişi tahlil etmekte çok yararlıdır. Seri halinde paleoyapı haritalarının çizilmesiyle belirli bir aralığın jeolojik evrimi açıklanmış olur. Buna benzer haritaların yardımıyla petrol veya gaz göçünün muhtemel yolları ve kapanların varlıkları veya bunların sonradan yok olup olmadıkları açıklanabilir. İzopak haritalarının değerlendirilmesi ayrıca yapının zamanında gelişip gelişmediğini de gösterir.

IV.3. Fasiyes Haritaları

Üç grup fasiyes haritası mevcut olup bunlar: litofasiyes haritası, biofasiyes haritası ve izofasiyes haritasıdır.

IV.3.1. Litofasiyes haritası. Bir ortamdaki bir formasyon veya grubun litolojisindeki değişimleri yansıtan haritalardır. Litofasiyes haritası bu değişimleri kalitatif veya kantitatif olarak gösterir. Ortamın çökme koşullarını ve çökelen sedimanların havza derinliklerine doğru değişimini yansıtır. Litofasiyes haritalarının hazırlanmasında değişik yöntemler kullanılabilir. Bunlardan en önemlisi Bileşik Oran Tipi Litofasiyes Haritalarıdır.

Bu tip bir litofasiyes haritası yapılabilmesi için litofasiyes haritası yapılan birimin toplam kalınlığının bilinmesi gerekir. Daha sonra kireçtaşı, kumtaşı ve şeyl seviyelerinin kalınlıkları çıkartılır ve kum şeyl oranı ile klastik oranları hesaplanır. Bu işlemlerin tamamlanmasından sonra haritalamaya geçilir. Eğer bir havzada açılmış çok sayıda kuyu varsa ve logları da alınmış ise bu veriler kullanılarak yapılacak olan litofasiyes haritası çok daha sağlıklı olacaktır. Litofasiyes haritaları yanal litofasiyes değişikliklerini de yansıtır.

Litofasiyes yapımında kullanılan bir yöntemde kuyudan elde edilen birimlerin kalınlıkları daireler ve dilimler şeklinde gösterilerek yapılır. Burada dairelerin çapı, birimin kalınlıklarını temsil etmektedir.

Eğer ortam çökelleri ince katmanlı ve ardalanmalı bir istif sunuyorsa kalınlık hesaplamalarında kuyuların elektrik loglarından faydalanılır.

IV.3.2. İzofasiyes haritası. Fasiyes haritalarının bir diğer türü de izofasiyes yada izolitoloji haritasıdır. Kalın bir stratigrafik birim içindeki egemen fasiyesin tavanı ile tabanı harita biriminin sınır yüzeylerini oluşturur. Ortam yorumlanmasında önemli olan üyeler veya mercekler izofasiyes/izolitoloji olarak haritaya geçirilir. Örneğin kalın bir şeyl istifi içindeki evoparit üyesinin izofasiyes haritası, çökme koşullarını anlamaya yardımcı olacaktır.

IV.4. Paleojeoloji Haritaları

Paleojeoloji haritaları geçmiş jeolojik devirlerdeki jeolojiyi gösterir. Kuyu bilgileri, yüzey mostraları ve ölçülen stratigrafik kesitler bu haritaların hazırlanmasında kullanılır. Elde yeterli bilgi olduğu zaman formasyon sınırları normal jeoloji haritalarında olduğu gibi çizilir. Bu haritalar bir baseni kapsayabildiği gibi bir kıtayı da içine alabilir. Bu haritalar petrol aramalarında faydalı bilgiler sunar. Mesela, Kretase'nin bir paleojeoloji haritası, Kretase sonrası formasyonların çökmeden önceki jeolojik durumunu yansıtır. Bu tür haritaların çiziminde diskordans yüzeyleri oldukça yararlıdır.

Çökeller jeolojik devirler boyunca değişik orojenik olayların etkisi altında kalır. Bu orojenik olaylar da katmanların kıvrılma ve kırılmasına neden olur. Bir orojenik etki ile kıvrılmış ve kapan oluşturmuş olan katmanların daha sonra değişik etkilere maruz kalması nedeniyle bu kapanlar ortadan kalkmış veya erozyona uğramış olabilir. Bu durumda önce varolan kapan ve kapan içindeki petrol birikimi de yok olmuş olabilir. Bir diğer ihtimalde bu olaylar esnasında kapanın yerinin değişmiş olmasıdır. İşte bu nedenlerle paleojeolojinin bilinmesi ve yorumlarının yapılması çok önemlidir.

IV.5. Jeofizik Haritaları

Bu tür haritalar özellikle petrol aramalarında önemli bir yer tutar. Jeofizik verilerle harita, kayaçların fiziksel özelliklerini ölçme suretiyle yapılır. Bu özellikler yansıma, kırılma, dalga iletimi, manyetik özellikler, yoğunluk ve radyoaktivitedir. Bu özelliklerin ölçülmesi için geliştirilen aletler yardımıyla haritalar otomatik olarak yapılabilir. Aletlerden alınan bazı veriler jeolojik veriye çevrilir. Görüldüğü gibi petrol aramalarında jeoloji ve jeofiziksel ölçüm ve yöntemler birleştirilerek beraberce yorumlanır. Böylece daha sağlıklı bir sonuca varılabilir. Bu nedenle petrol aramalarına il önce jeofiziksel yöntemlerle başlanır. Sismik ölçümler yeraltı yapılarının aranmasında kullanıldığı için önem arz ederler. Yapıların sismik yöntemlerle belirlenmesinden sonra sondalama işleri başlar. Sondajlardan elde edilen bilgiler ile sismik çalışmalardan elde edilen bilgiler birlikte değerlendirilir.

Sismik veriler yardımıyla yapısal kapanları belirleyebilecek zaman haritaları çizilebilir. Gerek jeolojik ve gerekse jeofizik verilerin deneştirilmesiyle yapılan yapı kontur haritaları daha sıhhatli olacaktır. Bu nedenle petrol aramalarında jeolojik ve jeofiziksel incelemeler birlikte yürütülür.

Kayaçların manyetik özelliklerinin veya yoğunluklarının ölçülmesiyle de haritalar hazırlanır. Bu metotla havzanın temeli belirlenebilir ve geometrisi çıkartılabilir.

IV.6. Jeokimya Haritaları

Petrol ana kaya analizlerinden elde edilen TOC (Toplam Organik Karbon), vitrinit yansıması, spor renk indeksi, kerojen tipi, Tmax gibi veriler kullanılarak jeokimya haritaları hazırlanabilir. Bu tür haritalar petrol aramalarında ve üretiminde büyük fayda sağlar.

IV.7. Rezervuar Bilgileri Veren Yeraltı Haritaları

IV.7.1. Gözeneklilik ve Geçirgenlik Haritaları. Çeşitli verilerle elde edilen gözeneklilik ve geçirgenlik değerleri haritaya çevrilebilir. Bu tür haritaların yapılması, gözeneklilik ve

geçirgenlik gelişim yönlerinin belirlenmesi ve üretiminin artırılması hususunda çok faydalı olur.

IV.7.2. Basınç Haritası. Kuyularda elde edilen basınç değerlerinden faydalanılarak hazırlanır. Bu tür haritalar petrol üretimi ve petrol göçüne etki ettikleri için önemlidir. Eşit basınçtaki noktaların birleştirilmesiyle izobar haritaları yapılır. Bu tür haritalarda basıncın düşüş gösterdiği yön önemlidir. Zira petrol bu yönde hareket eder.

IV.7.3. Sıcaklık Haritası. Açılan kuyularda ölçülen sıcaklık değerleri haritalamaya çevrilebilir. Bu haritalar hazne kayanın sıcaklığını gösterdiği gibi sıcaklık artışı ve azalışı yönlerini de gösterdikleri için önemlidir. Zira petrol oluşumu ve göçü sıcaklık ile yakından ilgilidir.

IV.7.4. İzopotansiyel Haritası. Eşit değerdeki potansiyel değerlerin birleştirilmesiyle yapılan haritalama çeşididir. Bu harita hesaplanan günlük üretim hızını ve eşdeğer eğrilerle gösterir.

IV.7.5. İzokonsantrasyon Haritası. Bir petrol sahasındaki hidrokarbon konsantrasyonunun değişimini eşdeğer eğrilerle gösterir.

IV.8. Jeolojik Bilgi Veren Yeraltı Haritaları

IV.8.1. Paleolitoloji Haritası. Paleojeolojik haritanın bir çeşidi olup jeoloji keyfi olarak bir yatay düzlemin üzerine işlenir. Örneğin bir petrol hazne kayasının belirli derinliklerde belirlenen litolojisi bir düzlem üzerine işlenmek suretiyle yapılır.

IV.8.2. Paleocoğrafya Haritası. Bu haritalar kara ile denizlerin dağılımını, topoğrafya engebelerini, kayaçların yer altı mostralarını ya da geçmişte belli bir zamandaki tektonik şekillerin konumlarını yapmak için yapılır. Paleocoğrafya haritaları jeoloji tarihi boyunca süregelen bir takım olayları temsil etmek ve açıklamak için önemlidir. Bu haritalar bugünkü coğrafya sınırlarına göre birimin nerede bulunacağını gösterir. Bu haritalara geçmişteki ve belirli zamanlardaki tektonik bilgiler, antiklinaller, senklinaller, diskordanslar, faylar işlenebilir. Aynı şekilde volkanizma faaliyetleri ve orojenik olaylarda işlenebilir.

IV.8.3. Palinspastik Haritalar. Bu tip haritalar Paleocoğrafya haritalarının diğer bir türü olup amacı, diyajenez, metamorfizma veya faylanma ile oluşmuş değişimlerden önceki belli bir kaya biriminin ilk yayılışını göstermektir.

IV.8.4. Paleotektonik Haritalar. Bu haritalar bir jeolojik zamandaki yapı örneklerini açığa çıkarmak amacıyla hazırlanır. Genelde bu haritalar bölgesel ölçektedir. Paleotektonik haritaların en önemli görevi tektonik yapılarla ilgili çeşitli bileşenlerin dağılımını göstermektir. Tektonik haritaların başka bir tipide belli bir stratigrafi düzeyindeki kıvrımlanma ekseni, faylanma izlerinin konumu ve epirojenik etkinlik alanlarını gösterir. Paleotektonik haritaları litofasiyes, paleontoloji, paleocoğrafya ve yapı kontur haritalarından elde edilen bilgilerle hazırlanabilir.

IV.8.5. Paleotopoğrafya Haritaları. Geçmiş jeolojik dönemlere ait topoğrafik durumu gösteren haritalardır.

V. KORELASYON

V.1. Tarif ve genel bilgiler

Yeraltına ait her çeşit bilginin bir araya toplanması yeterli değildir; bunları sınıflandırmak, incelemek ve sonuç çıkarmak gereklidir. Böyle bir durumda mühendisin görevi ilk olarak jeolojik kesit hazırlamaktır. Bir sondaja veya yeraltına ait bir kesitte bütün litolojik birimlerin ve eğer varsa diskordansların belirtilmesi şarttır. Bundan sonrada korelasyona geçmek lazımdır.

Korelasyon, karşılıklı benzer ilişkilerin belirlenmesidir. Yani iki stratigrafik birimin, birbirlerinden çok uzakta olsalar dahi, birbirine benzeyen veya yaş bakımından eşit olan kısımlarını ayırt etmek ve iki birim arasında ilişki kurmaktır. Korelasyon yerel veya bölgesel olabilir. Benzer ilişkilerle yapılan bu korelasyonlar yeraltında saklı yapıları ve hidrokarbon toplanmalarına en iyi yerleri bulmada yardımcı olur. Korelasyonlar, mevcut olması halinde, kuyu logları ile yapıldığında daha büyük bir önem kazanır.

Korelasyon üç çeşit yolla yapılabilir:

- a. Litolojik özelliklere dayanan korelasyon "**Litostratigrafik**",
- b. Biyolojik özelliklere dayanan korelasyon "**Biyostratigrafik**",
- c. Zaman - Stratigrafi özelliklerine göre yapılan korelasyon ise "**Kronostratigrafik**" korelasyon olarak adlandırılır.

O halde korelasyonlar litolojik, biyolojik ve jeolojik zaman benzerliklerine göre yapılabilir. Yeraltı aramalarında korelasyon önemli bir yer tutar. Bilhassa litolojik benzerlikler ve jeolojik zaman oluşumları dikkate alınarak yapılan korelasyonlar daha da önemlidir.

a. Litostratigrafik Ünite:

Bu korelasyonlar, kayaçların litolojik özelliklerine göre yapılır. Bu yöntemle grupların, formasyonların ve üyelerin litolojik benzerliklerine göre ayrılmaları gerçekleştirilir. Formasyon veya katmanların belirli dikkat çekici özellikleri göz önüne alınarak korelasyonlar gerçekleştirilir. Bu korelasyonlarda kullanılan fiziksel özellikler şunlardır:

- Litolojik benzerlik,
- Tabakaların sürekliliği,
- Stratigrafik dizilimdeki yeri,
- Litolojideki belirgin-muntazam değişiklikler,
- Elektriksel özellikler,
- Radioaktivite,
- Akustik özellikler,
- Yapısal gelişme

Kuyu logları (elektrik, radioaktivite gibi) yardımı ile birimlerin korelasyonlarını uzak mesafelere kadar devam ettirmek mümkün olmaktadır. Buna rağmen, litolojik korelasyon ancak incelenen tabakaların yayıldığı alan içinde mümkündür.

b. Biyostratigrafik (paleontolojik) Ünite:

İçindeki fosil topluluğu ile karakterize olan tabaka gruplarını temsil eder. Esas ünite **zon** veya **biyozon** olarak isimlendirilir. Bu şekilde elde edilen bilgiler kaya ünitelerinde olduğu gibi korele edilebilirler. Bu korelasyon paleontolojik belirtiler, paleontolojik benzerlik, paleontolojik dizilim ve karakteristik fosillere göre gerçekleştirilir.

Paleontolojik ünitelerin kayaç ünitelerine bağlı olma koşulu yoktur. Ancak çökeltme koşullarının ortamda hem kaya hem de paleontolojik üniteleri aynı şekilde etkilemiş olacağı durumlarda mevcut olabilir. Bu durumda kaya üniteleriyle paleontolojik üniteler birbirine paralel olarak gelişir.

c. Kronostratigrafik Ünite:

Belirli bir jeolojik zaman aralığında çökelmiş kayaç topluluğunu karakterize eder. Kronostratigrafik bir ünite içinde çeşitli kaya türleri olabilir (kil, kumtaşı, kireçtaşı gibi). Kronostratigrafik ünite sınırları taş ünitesi sınırları ile çakışabilir veya çakışamaz. Çoğu zamanda aynı tür kayaların içinden geçer. Bu üniteler çoğu zaman diskordanslarla sınırlandırılmıştır. Kronostratigrafik ünitelerle bölgesel ve kıtalar arası korelasyon yapılabilir.

V.2. Korelasyonun amaçları

Korelasyonlar yeraltı yapıları ve petrolü zonların belirlenmesinin yanında daha birçok problemin çözümünde ve yeraltının aydınlatılmasında yardımcı olur. Korelasyonun yardımcı olduğu hususlar şunlardır:

- Karmaşık jeolojik kesitlerin hazırlanması,
- Yerüstü ve yeraltı kaya serilerinin karşılaştırılması,
- Aynı zamanda ve başka başka zamanlarda oluşmuş kayaçların değerlendirilmesi,
- Jeolojik evrimin açıklanması,
- Diskordansların tanınmasında,
- Yüzeysel ve yeraltı yapılarının karşılaştırılması,
- Çökeltme ortamlarının değerlendirilmesi,
- İzopak (kalınlık) ve litofasiyes haritalarının hazırlanması,
- Doğal kaynakların araştırılması ve geliştirilmesin,
- Kuyu yeri tespiti, kesing, formasyon testi ve kuyu terki için.

V.3. Korelasyon yöntemleri

Korelasyon yapabilmek için, elde bulunan verilerin cins ve miktarına göre değişik yollardan hareket etmek mümkündür. Bu değişik yollardan en önemlileri şöyle sıralanabilir:

- Stratigrafik kolon içinde belirli, karakteristik kılavuz formasyonların bir yerden diğer bir yere doğru izlenmesi. Bu sırada kılavuz tabaka ile bunun üstünde ve altında yer alan tabakaların iyi tanınması gereklidir.
- Litolojik ve paleontolojik tabaka serileri ile kontrol kurmak. Bu yolla da belirli litolojik veya fosilli bir seriyi takip ederek etüt sahasında her yerde tespit etmeye çalışmak lazımdır.
- Havadan çekilmiş fotoğrafların, yeryüzü izlenimleriyle birlikte kullanılması.

- Erozyon yüzeylerinin tespiti.
- Çeşitli analiz metotlarından yararlanma (kimyasal, fiziksel, karot, yoğunluk analizleri gibi).
- Kuyu loglarından yararlanma

V.4. Korelasyon çeşitleri

Dört çeşit korelasyon yapmak mümkün olup bunlar:

- **Yerel korelasyon:** Sınırlanmış bir bölgeyi, mesela bir petrol havzasını veya küçük bir sedimanter havzayı amaç olarak ele alır. Bu çeşit korelasyon, çok detaya inilmediği sürece oldukça kolaydır.
- **Bölgesel (Rejyonel) korelasyon:** Büyük bir bölgeye dahil, fakat birbirinden bağımsız sediman havzalarının korelasyonudur. Ekseriya yapılması güç bir korelasyondur.
- **Bölgeler arası korelasyon:** Bölgelerarasındaki farklı aşınma ve fasiyes değişimleri nedeniyle bu çeşit korelasyon doğru sonuç vermeyebilir. Bu tür korelasyonlarda paleontolojik kontrolün bulunması şarttır.
- **Kıtalar arası korelasyon:** Burada litolojik korelasyon söz konusu olamaz, sadece paleontolojik korelasyon söz konusudur. Kıtalar arasında jeolojik zamanlar bakımından bazı korelasyon mümkün olmakla beraber birbirinden bağımsız küçük denizler (Miyosen, Oligosen, Eosen gibi) için bu korelasyon imkansızdır.

V.5. Korelasyon Güçlükleri

Korelasyon yaparken karşılaşılan güçlükler oldukça çok olup bunlar arasında en önemlileri:

- Mostralar genelde devamlı olmayıp, kesik kesiktir.
- Tabakaların litolojisi ve kalınlığı yanal olarak değişebilir.
- Kılavuz tabakalar arasındaki aralıklar değişebilir.
- Tanınmayan fay ve diskordanslar mevcut olabilir.
- Litolojik ve paleontolojik kontrolü sağlayacak olan seri eksik veya olmayabilir.
- Zaman-litoloji ve litoloji adlandırmalarının çokluğu ve karışıklığı
- Literatürden yanlış olarak çıkarılmış veya derlenmesi yanlış yapılmış bilgilerin varlığı.

Korelasyon, yeraltı jeolojisi yorumunun esasıdır. Korelasyon ne kadar iyi ve doğru yapılabilirse yorum da o orantıda iyi olur; bunun için de korelasyon, mümkün olan en yüksek doğrulukta ve detayda yapılmalıdır. Kuyulardan yeni bilgi elde edildikçe, korelasyonda gözden geçirilip, sürekli değişime tabi tutulmalıdır.

V.6. Korelasyon ve stratigrafi

Korelasyondan amaç, bir bakıma etüt sahasındaki “stratigrafi” yi kurmaktır. Gerçekten korelasyon, kuyuda rastlanan kayaçları, bir sıra benzeri özellikleri gösteren tabakalara ayırmaktır. Böylece, bir kuyuda belirlenen tabakalar, korele edilebilir diğer bir kuyudaki tabakalarla bağlanmış olur.

Korele olunabilir tabakaların tanınmasında rastlanan esas güçlük, sedimanların depolanması sırasında, değişik ortam koşullarının (depositional environment) mevcut olmasıdır.

Benzeri özellikler arasında kayaç tipi önemli bir özellik gösterir: tabakalar litolojik esaslara göre; kum, şeyl, silt, kalker, dolomit gibi ayrılabilir ki buna daha önce litostratigrafi adı verilmişti. Kuyu logları birinci derecede litolojik özellik gösterdiklerinden yeraltı mühendisinin esas ilgisini değişik kayaç tiplerine yöneltmesine, dolayısı ile stratigrafik korelasyonu kullanmasına yol açmaktadır.

Diğer taraftan, sedimanter tabakaları, değişik kayaç tiplerini aynı jeolojik zaman içinde oluştukları için korele etmek de mümkün olabilir. Buna, Krono-stratigrafi (time stratigraphy) adı verilmiştir ve fosil içeriğine dayanır.

Biyostratigrafi, kayaçları fauna veya flora değişimlerine göre korele eder. Foraminiferler ve polenler sayesinde paleontolog ve palinolog bu tip stratigrafiyi tespit ederler. Polenler çok dayanıklı, çoğu zaman jeolojik geçmişi gösteren tek bitki kalıntılarıdır.

Litostratigrafiyi uzak mesafeler için (örneğin 100 km.) kullanmak ve böylece bir petrol sahasından diğerine doğru korelasyon yapmak yanlış sonuçlar verebilir. Bu nedenle zaman ve biyostratigrafinin göz önüne alınması ve korelasyonun, arama uzmanları ile tartışılması gereklidir.

Stratigrafik Üniteler

1. Litostratigrafik	2. Biyostratigrafik	3. Krono-stratigrafik	Kronojeolojik
Grup	Zon	Eratem	Era
Formasyon		Sistem	Peryod
Üye		Seri	Epok
Tabaka		Kat	Çağ

V.7. Korelasyon ve tektonik

Korelasyonların asıl amacı stratigrafi, dolayısıyla korele edilebilir tabaka ve klavuz seviyelerin (key markers) tespiti olduğu için, klavuzlar için derinlik rakamlarını gösterir korelasyon haritası gelecekteki etütler için önemli bir gereçtir. Çünkü derinlik rakamlarıyla harita ve kesitleri çizmek mümkündür.

Korelasyondaki boşluklar, fayları veya diskordans düzlemlerini ortaya çıkartır.

VI. KUYU LOGLARI, ÇEŞİTLERİ VE YERALTI JEOLJİSİNDEKİ ÖNEMİ

Kayaçların petrofiziksel parametrelerinin belirlenmesinin ve yorumunun petrol endüstrisindeki önemi çok büyüktür.

Günümüzde, üretilmekte olan petrol ve gazın hemen hemen tamamı, rezervuar kayaçların gözenekleri içinde toplanmış bulunmaktadır. Ancak, ticari olarak bilinmesi gereken, petrol rezervlerinin tahmini ve üretilebilir petrol miktarının bilinmesidir. Bu bilgilerin elde edilebilmesi için kayacın petrofiziksel parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, açık kuyu loglarından elde edebileceğimiz temel kalitatif ve kantitatif bilgileri şöyle sıralayabiliriz:

- Rezervuar var mıdır?
- Potansiyel olabilecek rezervuarın derinliği nedir?
- Litoloji nedir?
- Rezervuar kalınlığı nedir?
- Gözeneklilik ne kadardır?
- Rezervuarın yayılımı ne kadardır?
- Ne tür bir mayi içerir?
- Ne şekilde bir üretim yapılabilir?

Petrofizik parametrelerinden birçoğu doğrudan ölçümle elde edilemez. Genellikle kayacın ölçülen fiziksel özelliğinden istenilen parametre hesaplanır. Örneğin kayacın yoğunluğu veya sesin kayaç içindeki geçiş zamanlarından gözenekliliğin bulunması gibi. Sondaj sırasında oluşan invazyon, çamur keki ve kuyu çapındaki genişlemeler gibi faktörler kayaçta yapılan fiziksel ölçümleri etkiler.

{Invazyon: sondaj sırasında kuyudan gelişleri önlemek için çamurun hidrostatik basıncı daima tabaka basıncından yüksek tutulur. Bu basınç farkı çamur filtresinin, geçirgen tabakanın içine girmesine ve buradaki mayinin bir kısmının daha gerilere doğru süpürülmesine neden olur. Bu olaya invazyon (süpürülme) denir}

VI.1. Log Tanımı

Açılan sondaj kuyularında, katmanların fiziksel özelliklerinin derinliğin fonksiyonu olarak kaydedilmesi ile elde eğrilere **log** denir. Diğer bir deyişle log, sondaj sırasında geçilen birimlerin tüm özelliklerini bize eğriler halinde yansıtır.

Kuyu loglarından rezistivite, kodüktivite, self potansiyel, radyoaktivite, eğim, akustik, hız gibi fiziksel değerler elde edilir. Bu fiziksel parametrelerden yararlanılarak katmana ait şu bilgiler elde edilebilir:

- Rezistivite değeri,
- Katman suyunun rezistivite değeri,
- İletkenlik değeri,
- Self potansiyel değeri,
- Su doygunluğu,
- Petrol doygunluğu,
- Gözenekliliği,
- Geçirgenliği,
- Katman veya formasyon sınırları ve kalınlıkları,

- Petrol-su ve gaz dokanakları,
- Katman litolojisi,
- İstila zonunun çapı,
- Sahanın jeolojik korelasyonu,
- Çatlakların tespiti,
- Kuyu çapındaki değişimler,
- Birimlerin çökelme koşulları ve ortamlarının yorumu.

Log yorumunda belirlenmesi gereken en önemli parametreler gözeneklilik (ϕ), su doygunluğu (S_w) ve geçirgenlik (k). Bunların ilk ikisi yerinde petrol, geçirgenlik ise üretim oranının belirlenmesinde kullanılır.

VI.2. Log Yorumunun Temel Prensipleri

VI.2.1. Gözeneklilik (Porozite)

Gözeneklilik, loglarla doğrudan ölçülerek elde edilen bir parametre değildir. Bu amaçla kullanılan densite, sonik, neutron logları ile tabakanın farklı fiziksel parametreleri ölçülür ve bunlar kullanılarak gözeneklilik değerleri bulunur.

Birimin çökelişi sırasında taneler arasında oluşan birincil gözenekliliğin yanı sıra çökeliş sonrası yer altı sularının ya da tektonik kuvvetlerin sonucu oluşan ikincil gözeneklilikte vardır. Karotlarda yapılan gözeneklilik ölçümleri gözenekliliğin bulunmasında diğer bir yöntem olmasına karşın sürekli bir gözeneklilik değeri ele edilemez, ancak bir kıyaslama olması açısından yararlıdır.

Gözeneklilik logları ya tek başına ya da birlikte (sonik-densite, densite-nötron, sonik-nötron) değerlendirilerek hem gözeneklilik hem de litolojinin belirlenmesinde kullanılır.

VI.2.2. Rezistivite

Bir kayacın rezistivitesi elektrik akımına gösterdiği dirençtir. Akım kayacın gözeneklerinde bulunan tabaka suyu içinde erimiş olan tuzlar tarafından iletilir. Dolayısıyla kayacın gözenekliliği arttıkça ya da katman tuzluluğu arttıkça rezistivitesi düşer.

VI.2.3. Geçirgenlik (Permeabilite)

Tabaka içinde sıvının iletilebilme özelliğidir. Kayaçların geçirgenlikleri sabittir. Birimi darcy $\mu\text{m}^2/\text{s}$ ile gösterilir. Bir kayacın geçirgen olabilmesi için birbirleriyle irtibatlı gözeneklerinin olması, kapilerite ve çatlaklar içermesi gerekir. Gözeneklilik ve geçirgenlik arasında kabaca bir ilişki vardır. Gözeneklilik arttıkça geçirgenlikte artar. Gözeneklilik değeri % 25'i geçtikten sonra bu kural değişmektedir.

VI.2.4. Rezervuar Geometrisi

Rezervuarın fiziksel şekli ve oryantasyonu onun üretilebilirliğini etkiler. Rezervuar geniş, dar, kalın, ince ya da büyük veya küçük olabilir.

VI.2.5. Sıcaklık ve Basınç

Sıcaklık ve basınç, pek çok şekilde hidrokarbon üretimini etkilemektedir. Rezervuar kayaçlarda, petrol, gaz ve suyun viskozite ve çözünürlüğünü yine bu iki parametre kontrol eder. Sonuç olarak, petrol/gaz çözünürlüğü sıcaklık ve basınç değişimine bağlı olarak

farklılıklar gösterecektir. Basınç, sıcaklık ve hidrokarbon fazının değişkenliği mevcut hidrokarbon oranına ve bunun spesifik tipine bağlıdır.

VI.2.6. Doygunluk

Tabakanın doygunluğu, tabaka gözeneklerindeki sıvı hacmidir. Su doygunluğu, tabaka suyu içeren gözenek hacmidir. Doygunluk S ile gösterilir. Petrol yada gaz olan doygunluk gözeneklerindeki sıvı ile orantılıdır. Tabaka özelliği sunan kayalarındaki doygunluk % 100 olmalıdır. Petrol ve gaz içeren rezervuar kayacytan bu sıvıların tamamını almak mümkün değildir. Bir kısım HC hazne kayada kalırki buna rezidüal (residual) petrol doygunluğu denir.

VI.3. Log Çeşitleri

VI.3.1. Self Potansiyel (SP) Logu ve Özellikleri

SP logu tabaka suyu ile iletken sondaj çamuru ve şeylin etkileşimi sonucu oluşan elektriksel potansiyeli ölçer. Bu log kuyu içindeki hareketli bir elektrotla yüzeydeki sabit potansiyelli bir elektrotun elektriksel potansiyellerinin farkının derinliğe göre kayıdır. Bu logda ölçüm birimi mV (mili volt) olarak alınır. Özellikle kumlu ve killi birimleri ayırt etmekte kullanılır.

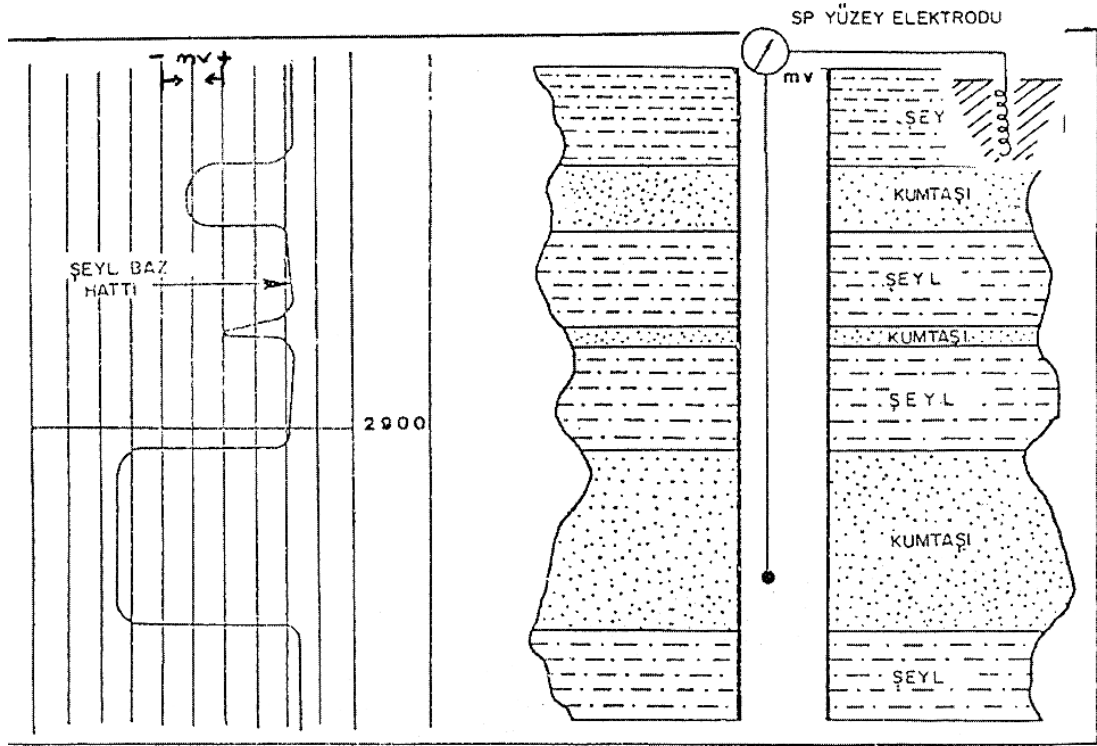
Şeyller karşısında SP logu hemen hemen düz bir çizgi şeklindedir ve bu şeyl baz hattı olarak tanımlanır. Geçirgen tabakalar karşısında SP logu bu baz hattından sağa (+) veya sola (-) doğru sapar, kalın tabakalar karşısında bu sapma artık sabit bir değere ulaşır ki bu değer kum hattı olarak tanımlanır. Eğer tabaka suyu tuzluluğu, çamur filtresinin tuzluluğundan fazla ise sapma sola doğru (-) olur, tersi ise sağa doğru (+) sapma olur. Tabaka suyu ile çamur filtresinin tuzluluklarının aynı olması halinde ise SP de sapma gözlenmez. Kalın ve temiz tabakalar karşısında şeyl baz hattından itibaren olan SP sapması statik (SSP) olarak bilinir.

Kuyuda iletken çamur olmaması halinde SP logu alınamaz. Çünkü bu durumda SP elektrotu ile tabaka arasında elektriksel süreklilik sağlanamaz. Ayrıca formasyon suyu rezistivitesi çamur filtresinin rezistivitesine eşit olursa SP sapması gözlenemez. Bilhassa yanal fasiyes değişimleri SP ölçümleri sayesinde kolaylıkla ayırtedilebilir.

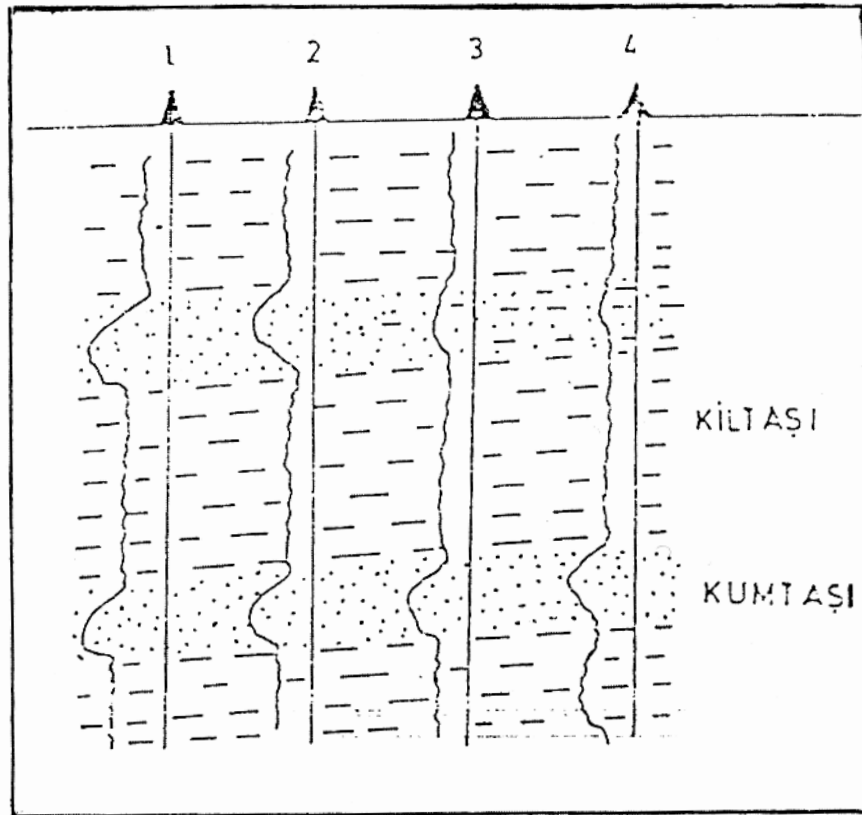
SP eğrisinin eğimi, çamurdan geçen akımın yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Geçirgen tabaka karşısında SP eğrisinin şekli ve sapma miktarı; geçirgen tabakanın kalınlığına, rezistivitesine, invazyon zonunun rezistivitesine, çapına, en yakın şeyl zonunun rezistivitesine, çamur rezistivitesine, ve kuyu çapına bağlıdır.

Kullanıldığı yerler:

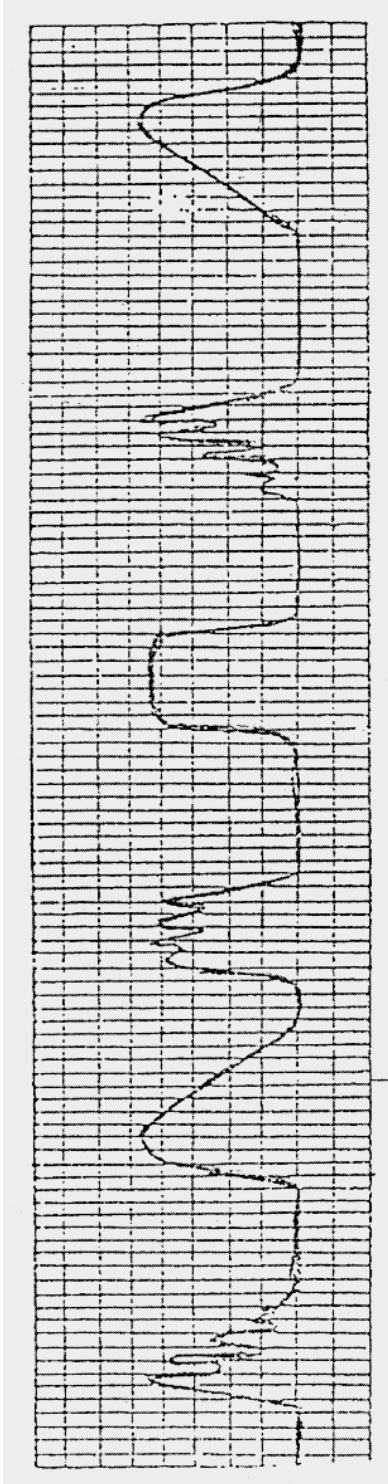
- Gözenekli ve geçirgen tabakaların belirlenmesinde,
- Tabaka sınırlarının belirlenmesinde,
- Tabaka killiliği hakkında kalitatif bilgilerin edinilmesinde,
- Litoloji tespitinde,
- Tabaka suyu rezistivitesinin bulunmasında.



SP Logu'nun genel prensibi



SP Loguyla korelasyon örneği



Huni şeklinde keskin
Üst sınır geçişli, alt sınır düz SP eğrisi

Huni şeklinde keskin
Üst sınır geçişli, alt sınır testeremsi SP eğrisi

Silindir şeklinde keskin
Üst sınır keskin, alt sınır düz SP eğrisi

Silindir şeklinde keskin
Üst sınır keskin, alt sınır testeremsi SP eğrisi

Çan şeklinde geçişli
Üst sınır keskin, alt sınır düz SP eğrisi

Çan şeklinde geçişli
Üst sınır keskin, alt sınır testeremsi SP eğrisi

Temel SP eğrileri:

Elektrofasıyes Sınıflaması		Tane boyunda azalma Şeyl % sinde artış	
	Ani. pik	Dereceli-pik	
Ani pik	Düğümlü Tırtıklı	Düğümlü	Çan şekli Tırtıklı
Dereceli pik	Huni şekilli	Yumurta şekilli	
Dereceli pik	Yukarı kalınlaşma	Devirli	

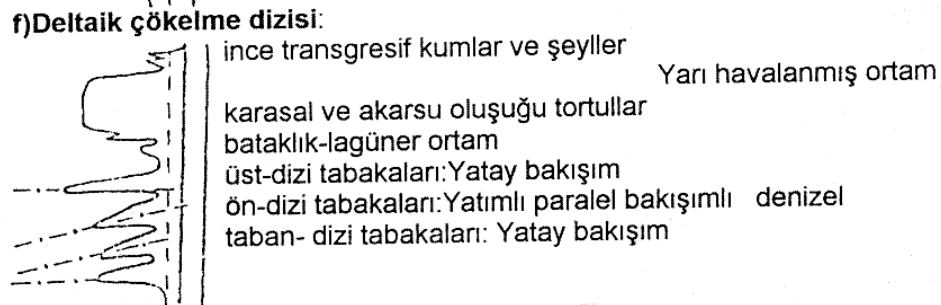
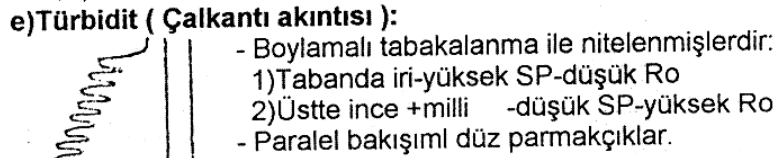
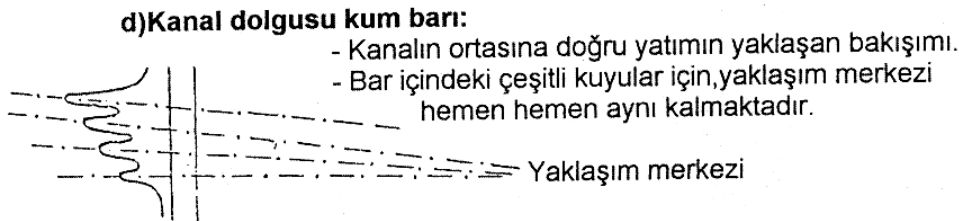
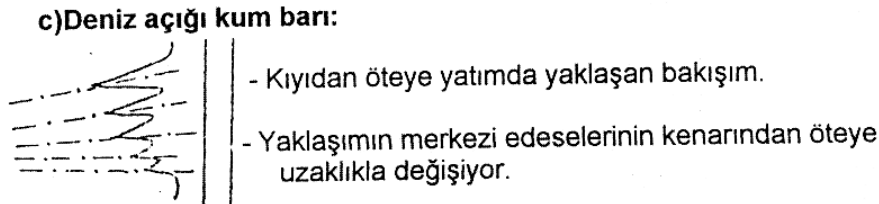
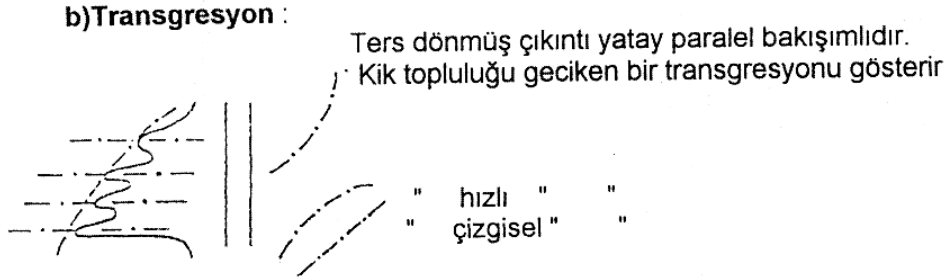
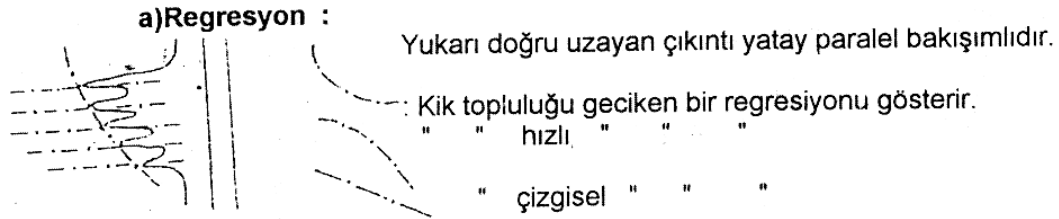
Tane boyu ile SP arasındaki ilişki

Log Eğrisi Biçimleri ile Çökelmeye İlişkin İncelemeler:

Çökelme gözlemleri (tane iriliği dağılımı, taş dokusu ve çökelme dizisi boyunca devreler içindeki mineral dağılımı) çeşitli tortullar içinde neden olan farklı kıyı çizgisi işlemlerini ve niteliklerini göstermiştir. Belirli çökelme devrelerinin SP ve kısa normal, indüksiyon ve kondüktivite eğrileri biçimlerinden tanınabileceği belirlenmiştir.

Kum birikintileri nicelik ve nitelik bakımından karakterize edilmiştir. Buna göre:

- Regresif kum (regressive sand),
- Transgresif kum (transgressive sand),
- Deniz açığı kum barı (offshore sand bar),
- Kanal dolgusu kum barı (channel fill sand bar),
- Türbiditler (turbidites),
- Yapıcı delta çökelim dizisi (constructive delta serie), olarak yorumlanabilir.



SP eğri biçimlerinden tanınabilen kuramsal çökeltim örnekleri

VI.3.2. Radyoaktivite Logları ve Özellikleri

A. Gamma Ray Logu (GR)

Gamma Ray Logu tabakanın doğal radyoaktivitesini ölçer. Radyoaktif elementler Uranyum (U), Toryum (Th) ve Potasyum (K) genellikle şeyl ve killer içinde konsantre olduğu için sedimanter kayalardaki şeyl miktarını yansıtır. GR logunun birimi ton başına mikrogram radyum eşdeğeri veya saniyede ışınım sayısı (API) olarak alınır.

Düşük geçirgenlikte log, sağa doğru kayar. Geçirgen formasyonlarda ise radyoaktivite düşüktür. Bunlar, tabaka suları içinde erimiş radyoaktif tuzlar bulunmayan veya volkan külleri, bozunmuş granit gibi malzeme içermeyen temiz tabakalardır. Şeyllerle, temiz rezervuar kayalar arasındaki bu yüksek radyoaktivite farkı sayesinde rezervuar kayalarla şeylli zonlar ayırt edilebilir.

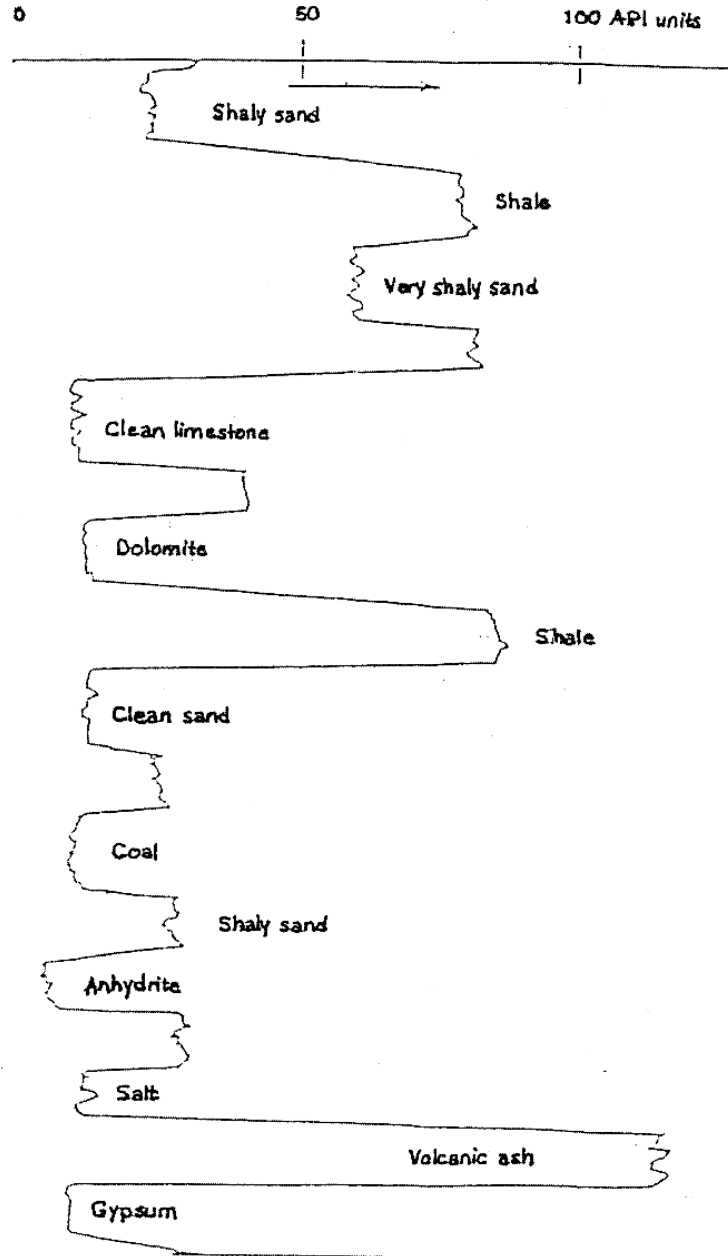
Kiltaş, marn ve potasyum tuzları, duraysız K_{40} izotopları içerir. Bu kayalarda radyoaktif bir özellik gösterir. Bu nedenle, bu tip kayaları radyoaktif özellikleri olmayan veya çok az olan kumtaş, anhidrit ve kaya tuzundan ayırmak çok kolay olur.

Tabaka içindeki radyoaktif elementler (Th, K, U) atom çekirdeklerinden devamlı olarak radyoaktif alfa beta ve gamma ışınları yayarlar. Bu ışınlar çarpışma sonucu enerji kaybederler ve GR Logu ile enerji seviyesi 0.04-3.2 Mev olan gamma ışınları özel dedektörler tarafından sayılabilirler. GR logu API birimine göre kalibre edilir. GR logunun en önemli özelliklerinden biri muhafaza borusu arkasından da alınabilmesidir. Böylece kuyu tamamlama ve üretim çalışmalarında korelasyon amacı ile kullanılabilir. SP logunun alınmadığı boş ve petrol bazlı çamur kullanılan kuyularda alınabilir.

GR Logunun Kullanıldığı Yerler:

- SP logunun kullanılmadığı yerlerde şeyl tabakalarının belirlenmesinde,
- Tabaka içindeki şeyli yansıttığı için şeyl miktarının kantitatif olarak hesaplanmasında,
- Yanal litofasiyes değişimlerinin saptanmasında,
- Potasyum ve Uranyum gibi radyoaktif minerallerin bulunmasında,
- Kömür tabakası gibi radyoaktif olmayan minerallerin yayılımının tespitinde,
- Açık kuyularda alınan loglarda derinlik korelasyonunda,
- Uzun süre üretim yapan eski kuyularda formasyon suyunun büyük oranlarda geçtiği zondaki radyasyon seviyesinin belirlenmesinde.

Doğal radyoaktiviteyi oluşturan U, K ve Th, şeyller içinde yoğunlaşmıştır ve şeyllerin rengi koyulaştıkça radyoaktiviteleri de artar. Şeyllerin radyoaktivitesinde gözlenen bu değişimden dolayı GR logunda SP'de olduğu gibi düzgün şeyl hattı olmaz. Temiz rezervuar kayalar düşük radyoaktivite gösterir ancak kendi içindeki kireçtaşlarının radyoaktivitesi dolomitlerden, dolomitlerin radyoaktivitesi de kumtaşlarından daha azdır.



GR Logu'nun litolojiye bağılı olarak değişimi

B. Tabii Radyoaktivite Logu (NGT)

GR logunda olduğu gibi NGT logu da tabakanın doğal radyoaktivitesini ölçer. Ancak ondan farklı olarak üç radyoaktif elementin (U, Th, K) doğal olarak yaydıkları gamma ışınlarının enerjilerini ölçerek kayaç içindeki yüzdeliklerini belirler. Doğadaki gamma ışınlarının büyük bir kısmı üç radyoaktif izotopun başka izotoplara dönüşmesi esnasında oluşur. Potasyum, Argon 40'a dönüştüğünde 1.46 Mev gamma ışını yayar, Toryum ve Uranyum ise dengeli bir izotop oluşturana kadar ara aşamalarda birçok izotop oluşturur. Bu oluşumlar sırasında ortama yayılan gamma ışınları tabakanın doğal radyoaktivitesini oluşturur ve bunlar dedektöre ulaşana kadar sürekli enerji kaybederler. Logun birimi ise saniyede ışınım sayısı olarak alınır.

Kullanıldığı Yerler:

- Kuyular arasında korelasyon yapılmasında,
- Diğer loglardan killerle ilgili elde edilen verilere tamamlayıcı bilgi sağlanmasında,
- Kil tiplerinin ayırt edilmesinde, kil hacminin bulunmasında,
- Diğer radyoaktif mineralleri belirliyerek, karmaşık litolojilerde gerçek litolojinin bulunmasında,
- Stilolit, çatlak ve uyumsuzlukların belirlenmesinde,
- Uranyum (Uranyum madenlerinde), potasyum (evaporitlerde) ve organik hidrokarbon potansiyelinin belirlenmesinde,
- Fasiyes ve çökelim ortamlarının belirlenmesinde,
- Radyoaktif minerallerin bulunmasında ve yorumlanmasında.

Toryum: Yerkabuğundaki konsantrasyonu % 12 ppm. dir. Suda erimez, bu yüzden bulunduğu ortamda kalır, ağır minerallerle birlikte bulunur. Genellikle şeyllerle birlikte bulunur ve kil hacminin (Vsh) bulunmasında kullanılır. Toryum içeren kaynak kayalar sialik magmatik kayalardır. Toryum eriyebilen ve kolaylıkla hidrolize olabilen mineral olmadığından bulunduğu ortamda kalır ve kalıcı mineraller (Boksit, kil mineralleri gibi) içinde konsantre olur.

Potasyum: Yerkabuğundaki konsantrasyonu % 2,6 dır. Suda eriyebilir. Feldspat ve mikayı gösterir. Potasyum içeren kaynak kayalar sialik magmatik kayalar, granit, granodiyorit, siyenit ve riolitlerdir.

Uranyum: Yerkabuğundaki konsantrasyonu 3 ppm dir. Suda eriyebilir. Çatlak ve stilolitlerin içinde birikir. Konsantrasyonu şeyl hacmi ile ilgili değildir. Uranyum içeren kaynak kayalar sialik magmatik kayalardır. Uranyum kolaylıkla uranyum oksitlere dönüşebilir ve eriyebilir, indirgen ortamlarda organik karbonla birleşir, stilolit ve çatlaklar içinde birikir.

Ölçümü Etkileyen Faktörler:

NGT okumaları yalnızca üç radyoaktif mineral konsantrasyonuna bağlı değildir. Bunun yanı sıra kuyu şartları da (kuyu çapı ve çamur ağırlığı) log okumalarını etkiler. Bunun için düzeltme tabloları kullanılarak gerekli düzeltmeler yapılır.

LİTOLOJİ TESPİTİ

Çok sık olarak temiz kum veya kumtaşları çok düşük radyoaktivite gösterirler. Bunun nedeni Th,K,U içeriklerinin düşük olmasıdır.

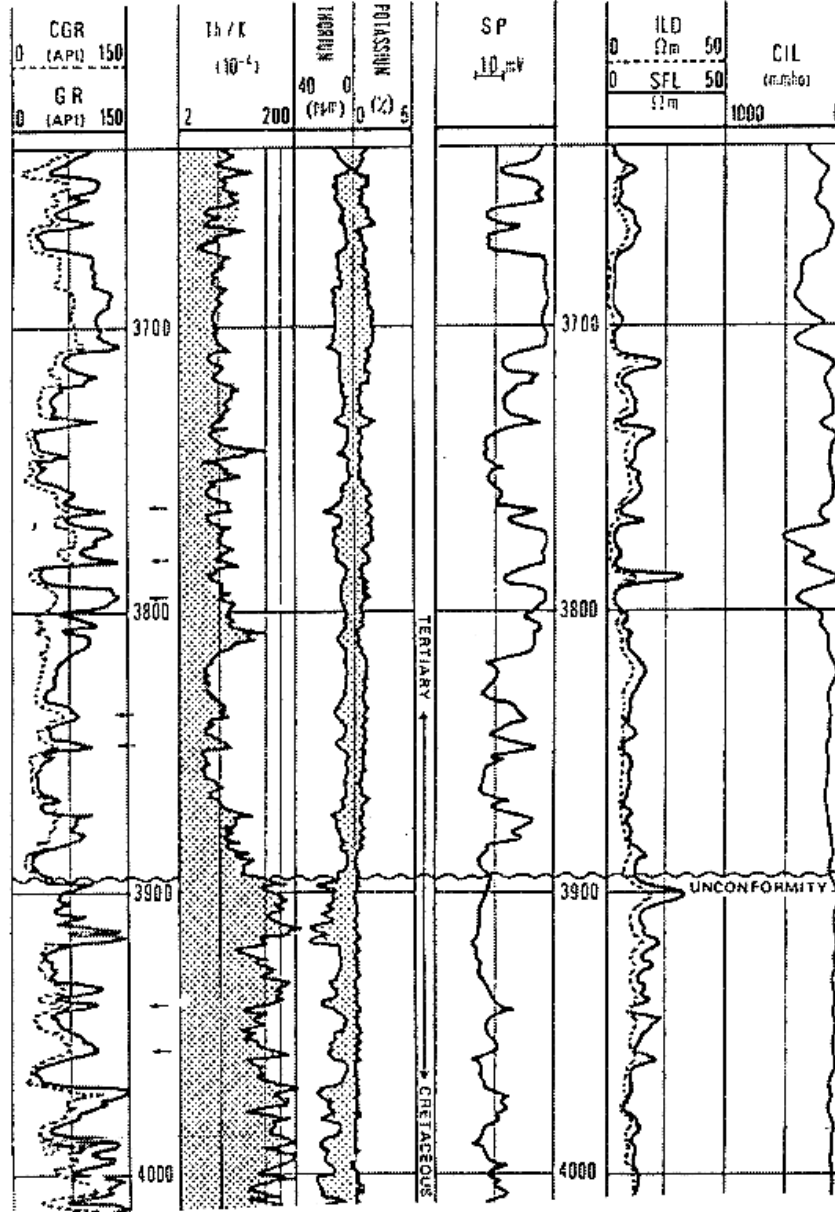
Feldspatik kumtaşları veya arkozlar: Bu tip kumtaşları, genellikle çok düşük Tb/K oranı gösterirler.

Mika Kumtaşları; Mika kumtaşlarının potasyum içeriği, mika yüzdesine bağlıdır. Mika ve feldspat yüzdelерinin aynı olduğu durumlarda, kum düşük potasyum içeriği gösterir ki bunun nedeni mikanın potasyum içeriğinin feldspatlara oranla düşük olmasıdır. Aynı zamanda toryum içeriği daha yüksek olacaktır. Kumtaşlarındaki ağır mineraller çok sık olarak, zirkon, sifen, monazit gibi ağır mineraller ile Toryum ve Uranyum içerirler. Bu da temiz kumtaşlarında radyoaktivite artışına sebep olur. Bu tip kumtaşlarında Th/K oranı yüksektir.

Karbonat Serileri; Temiz karbonatların orijininde Th bulunmaz. Uranyum yüzdesinin değişken olması, karbonatın indirgen bir ortamda depolandığını gösterir. Uranyum pikleri, fosfatlı seviyelere karşılık da gelebilir. Uranyumla birlikte, Th ve K karbonattaki kil mevcudiyetine işaret eder. .

Magmatik Kayaçların Belirlenmesi: Log verilerinden mağmatik kayaç tipinin belirlenmesinde de yararlanır. Siyenit dışında pek çok intrüzif magmatik kayaç Th/U oranını kullanarak belirlenebilmektedir. Bu değerden sapmalar günlenme etkilerini, yağmurla eritilen uranyumu ya da magma kristalizasyonu öncesi oksitlenme koşullarını gösterir. Diğer loglar, özellikle litho-density ve sonik loglarla daha doğru bulgular elde edilir.

Uyumsuzlukların Tespiti: Th/K oranındaki ani değişimler, depolanma esnasındaki jeolojik koşulların değişiminin indikatörüdürler. Bu da uyumsuzluklara bağlılık gösterir.



Th/K oranlarıyla uyumsuzlukların belirlenmesi