

## 7-4- SİSMİK

Sismik yöntemler yer altındaki jeolojik tabakaların durumlarını saptamada elastik dalgaların, yer içerisinde yayılması ile ilgili fizik prensiplerine dayanır. Bu yöntem veri toplama ve değerlendirme açısından oldukça pratik, hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Sismik yöntemler kaynaktan yayılan sismik dalgaların takip ettiği ışın yollarına göre Sismik Kırılma (refraction), Sismik Yansıma (reflection), olmak üzere iki genel bölüme ayrılır. Kullanılan fiziksel parametre sismik dalga hızıdır. Sismikte P ve S dalgaları ve özellikle, daha hızlı olduğu ve önce geldiği için, P dalgaları kullanılır. Dalgaların yansıma ve kırılmalarından yararlanarak yeraltındaki tabakaların derinliği, eğimi ve sismik dalga hızları, dolayısıyla, **elastik zemin parametreleri** belirlenir.

### Elastik zemin parametreleri

**Lame Sabiti ( $\lambda$ ) ve Kayma (Shaer) Modülü ( $\mu$ ):** Lame Parametreleri de denir. Zeminin kuvvetlere karşı direncini, dayanıklılığını gösterir. P ve S dalga hızları biliniyorsa aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanabilirler.

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

**Sismik Hız Oranı ( $V_p/V_s$ ):** Zeminin sıklığını gösterir. P ve S dalga hızları biliniyorsa doğrudan hesaplanabilir.

**Poisson Oranı ( $\nu$ ):** Kayacın kırıklı olup olmadığı, ayrıca kayacın gözeneklerinde su taşıyıp taşımadığı Poisson oranı incelenerek belirlenebilir. Lame parametrelerinden izleyen bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$$\nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)}$$

Sismik dalga yayılımının temeli iki fizik yasasına dayanır: **Huygens ve Fermat prensipleri**.

**Huygens Prensibi:** Dalga cephesi üzerindeki noktaların yeni küresel dalgacıklar üreten kaynaklar gibi davrandığını ifade eder. Oluşan ikincil dalgalar yeni bir dalga cephesi oluşturur.

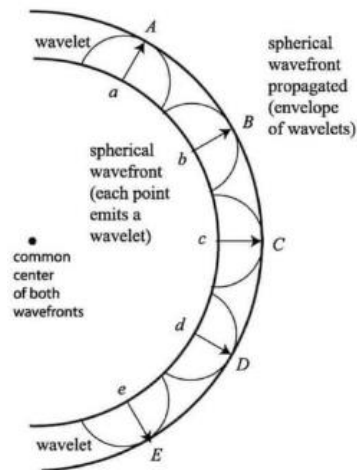
**Dalga cephesi** herhangi bir anda titreşimlerin ulaştığı noktaların oluşturduğu yüzeydir. Sismik ışın dalga cephesine diktir. Gerçekte ışınlar yoktur, dalga cephesi vardır fakat dalgaların anlaşılabilmesi ve hesaplamalar yapılabilmesi için ışınlar kullanılmaktadır.

**Elastite (Young) Modülü ( $E$ ):** Jeolojik birimlerin sertlik ve sağlamlığının bir ölçüsüdür. Lame parametrelerinden izleyen bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu}$$

**Bulk (Sıkışmazlık) Modülü ( $K$ ):** Bir kütlelin kendisini saran basınç altında sıkışmasının bir ölçüsü olan Bulk modülü diğer bir söyleyişle uygulanan basınç altındaki hacim değişiminin ölçüsüdür. Lame parametrelerinden izleyen bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$$K = \lambda + \frac{2\mu}{3}$$



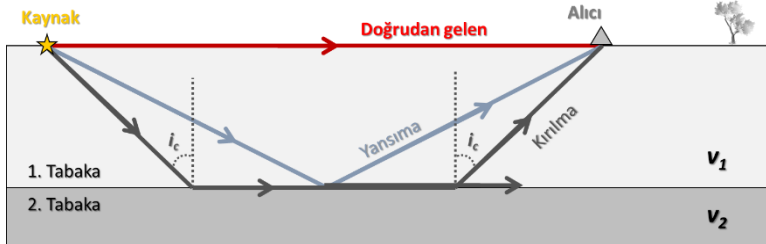
**Fermat Prensibi:** Sismik ışınların iki nokta arasındaki en kısa yolu izleyeceğini belirtir. Homojen ortamda ışının izleyeceği yol bir doğru olacaktır. Işın bir ara yüzeye geldiğinde tabakaların hızına bağlı olarak ara yüzeyin normaline yaklaşarak veya uzaklaşarak en kısa yolu izleyecektir.

Fermat prensibi **Snell yasasına** öncülük etmiştir. Snell yasasına göre, ara yüzeye gelen ışın ara yüzeyin normali ile yaptığı açıya ve tabaka hızlarına bağlı olarak ilerler. Snell yasası  $\frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2}$  eşitliği ile ifade edilir. Burada  $V$  sismik dalga hızıdır.

Ara yüzeye gelen ışın üç yol izleyebilir:

- 1- İkinci tabakaya geçer ve ara yüzeyin normaline yaklaşarak veya uzaklaşarak ilerler. Bu, sismik dalganın *kırılmasıdır*.
- 2- Eğer gelen dalga ikinci tabakanın normali ile  $90^\circ$  açı yaparak kırılırsa bu durumda *kritik kırılma* olur ve  $\frac{\sin i_c}{V_1} = \frac{\sin 90}{V_2}$  koşulunu sağlayan geliş

Sismik kayıta yandaki şekilde yayılım yolları gösterilen **doğrudan gelen** (a), **yansıyan** (b) ve **kırılan** (c) sismik dalgalar görülür. Bu dalgalar farklı yollar izledikleri ve farklı hızlarla seyahat ettikleri için farklı zamanlarda kaydedilirler. Doğrudan gelen ve kırılan dalgalar alıcının kaynaktan uzaklığına ve hız yapısına bağlı olarak farklı sırayla kaydedilirler. Yansıyan dalgalar hiçbir zaman ilk varış olarak kaydedilmez.

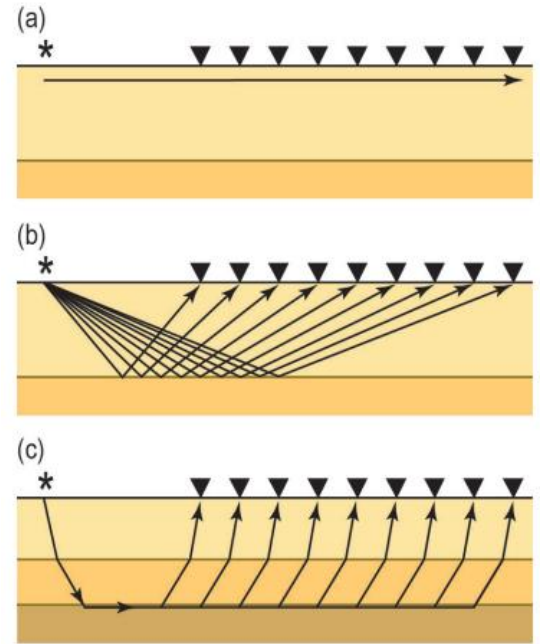
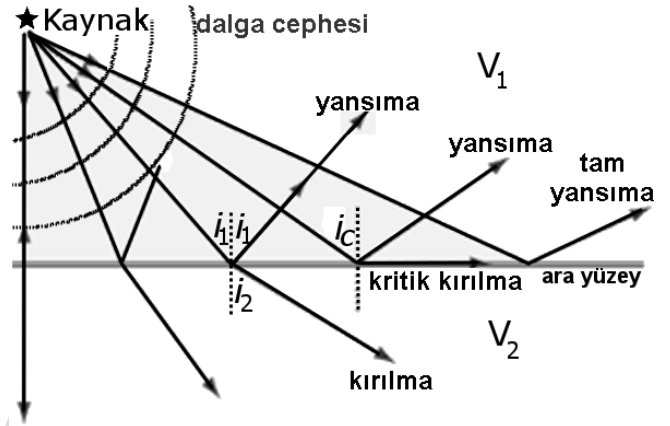


açısı tabakaların sismik dalga hızları oranından

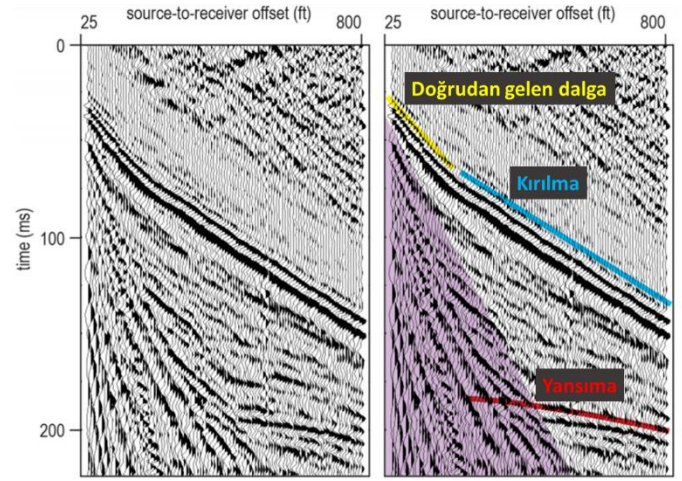
$$i_c = \arcsin\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

adı verilir.

- 3- Ara yüzeye normalle  $i_1$  açısı yaparak gelen ışın yine normalle aynı açıyı yaparak ilk yüzey içerisinde ilerler. Buna *yansıma* adı verilir. Kritik kırılmanın gerçekleştiği kritik mesafeden sonra *tam yansıma* gerçekleşir. Gelen dalganın tamamı yansır.



Yandaki şekil gerçek bir sismik kayıttan alınmış bir kesittir. Yatay ekseninde kaynak-jeofon arası mesafe ve düşey ekseninde zaman verilmektedir. Aslında bu şekilde görülen bir sismik kayıt, yatay ekseninde her bir jeofon kaydının yan yana sıralanması ile elde edilmektedir ve kaydedilen büyüklük yerin titreşim genliğidir. Kayıttan da görüldüğü gibi, jeofonlara ilk gelen belirli bir kaynak-jeofon arası mesafeye kadar doğrudan gelen dalga iken belirli bir mesafeden sonra ilk kaydedilen kırılan dalgalar olmaktadır. Yansıyan dalgalar ise daha geç gelmekte ve üst üste binen karmaşık varışlardan ayırt edilmesi gerekmektedir.



Yansıyan ve kırılan dalga kayıtlarını ayrı ayrı kullanmak üzere sismik yöntemler ikiye ayrılmıştır: **kırılma ve yansıma sismiği**.

### KIRILMA SİSMİĞİ

Sismik kırılma, belirgin yoğunluk kontrastı ile karşılaşarak ara yüzeyde kırılan ve yüzeye dönen sismik dalgaların seyahat zamanının ölçülmesini içerir. Jeofonlarda, belirli bir mesafeden sonra ilk kaydedilen sismik enerji kırılmalardır. Bu yöntem tabakaların sismik dalga hızı derinlikle artıyorsa uygulanabilir. Veri toplama ve değerlendirme açısından oldukça pratik, hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Diğer önemli bir özelliği ise dalga yayılım hızının derinlikle arttığı tabakalı ortamlarda, tabakaların hızlarının ve derinliklerinin yeterli bir doğrulukla bulunmasını sağlar. Hedef derinliğinin 4-5 katı uzunlukta jeofon dizileri kullanılması gerekir. Sismik kırılma yöntemi, yer altı suyu araştırmalarında, mühendislik amaçlı zemin etütlerinde, yatay ve düşey yönde her bir katman için sismik hızlar, tabaka kalınlıkları ve elastik parametrelerin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

### YANSIMA SİSMİĞİ

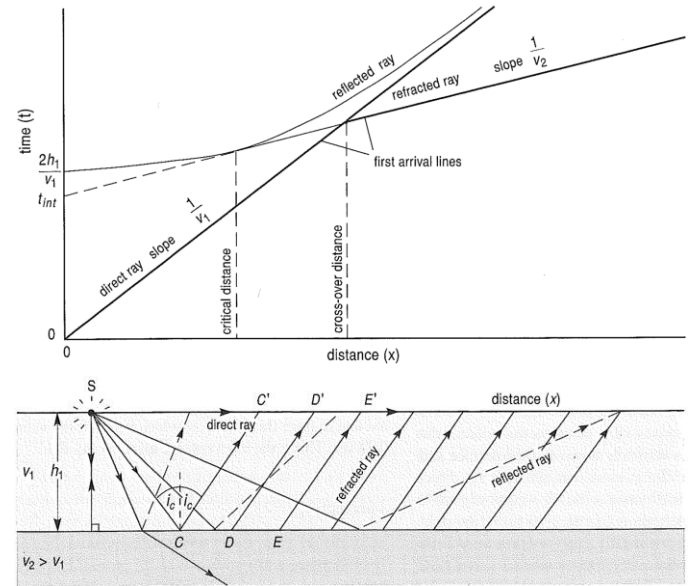
Sismik yansıma, ara yüzeylerden yansıyan sismik dalgaların seyahat zamanının ölçülmesini içerir. Yansıyan dalgalar jeofonlarda hiçbir zaman ilk kaydedilen sismik enerji değildir ve üst üste binmiş karmaşık varışlardan ayırt edilmesi gerekir. Veri toplama ve veri analizi sismik kırılma yöntemine göre çok daha uzun sürer ve daha yüksek maliyetlidir. Deniz araştırmalarında kullanımı kırılma sismiğinden daha uygundur. Petrol, doğal gaz, kömür aramalarında, liman, karayolu, baraj gibi büyük yapıların inşası ile ilgili temel kaya problemlerinin çözümünde, kara ve denizde yerkabuğu araştırmalarında kullanılmaktadır.

	KIRILMA	YANSIMA
<b>HEDEF</b>	~30 metreden sığ, yataya yakın ara yüzeyler	~15 metreden daha derindeki yatay veya eğimli ara yüzeyler, mağara veya tüneller
<b>GEREKLİ SAHA KOŞULLARI</b>	İlgilenilen derinliğin ~5 katından büyük boyutta tercihen asfaltsız saha	YOK
<b>DÜŞEY ÇÖZÜNÜRLÜK</b>	Derinliğin %10-20 si	Derinliğin %5-10 u
<b>YANAL ÇÖZÜNÜRLÜK</b>	Jeofon aralığının ~1/2 si	Jeofon aralığının ~1/2 si
<b>ETKİN ARAŞTIRMA DERİNLİĞİ</b>	Atış-jeofon aralığının 1/5 – 1/4 ü	>15 metre
<b>VERİ İŞLEM</b>	Veri işlem aşaması daha kolaydır	Veri işlem bilgisayar işlemcisinin (CPU) yoğun çalışmasına neden olabilir. Veri boyutu tek bir arazide 400 Gb olabilir. *
<b>UYGULAMA ALANI</b>	Derinlik ve kalınlık belirleme, sismik dalga hızlarının ve elastik parametrelerin belirlenmesi, arama ve mühendislik çalışmaları.	Petrol ve maden arama, fay hattı ve jeolojik yapıların belirlenmesi

\*Dünyanın toplam CPU işlem zamanının ~%30'u sadece yansıma verisinin işlenmesi için harcanmaktadır!

Kırılma sismiğinde tabakaların hızları, eğimleri, kalınlıkları gibi bilgilerin hesaplanabilmesi için **zaman-uzaklık (t-x) grafiği** kullanılır. Sağdaki şekilde görülen t-x grafiği hemen altında verilen yer modeli üzerinde yapılan sismik ölçümlerin sonucunda elde edilebilir. Yansıyan dalgaların grafiği doğrudan gelen dalga grafiğine asiptotiktir ve orijinden (x=0) başlar çünkü kaynak noktasında da bir alıcı olduğunu varsayarsak, kaynaktan çıkarak düşey yönde ilerleyen ve yansıyarak yeryüzüne geri gelen dalga bu alıcıda yani x=0 noktasında kaydedilecektir. Doğrudan gelen dalga grafiği doğrusaldır, kaynaktan çıkarak doğrudan jeofonlarda kaydedilen dalgalardır, orijinden başlar. Kırılan dalga grafiği de doğrusaldır, orijinden başlamaz çünkü kırılmanın başlaması için dalganın yansıtıcı arayüzeyin normali ile yaptığı açının kritik açısına ( $i_c$ )

ulaşması gerekir. Kritik açya ulaşılan uzaklığa kritik mesafe denir ve  $x_c=2ht \tan i_c$  bağıntısı ile hesaplanır.



Yansıma sismiğinde gerçek jeolojik kesitlere çok benzeyen sonuçlar elde edilir. Karmaşık görünen sismik kayıt çok çeşitli veri işlem aşamalarından sonra yorumlanır. Yandaki sismik kesitte görüldüğü gibi veri işlem uygulanmadan kesit üzerinden yansıtıcı ara yüzeylerin (reflector) belirlenmesi oldukça zordur.

Aşağıda ise veri işlem öncesi ham veri ve veri işlem ve yorum aşamalarından sonra önerilen yeraltı modelleri verilmektedir.

