

4. SİSMİK DALGALAR

Yer içerisinde meydana gelen bir deprem ya da patlatma anında çok büyük miktarda enerji açığa çıkar. Bu enerjinin bir kısmı faylanma ile kayaçların deformasyonu için kullanılırken, kalan kısmı ise ortamın özelliklerine bağlı olarak yer içerisinde elastik dalgalar şeklinde yayılır. Sismik dalgalar olarak bilinen bu elastik dalgalar, depremi oluşturan kırılma ve faylanma nedeniyle kaynaktan uzaklaşacak şekilde tüm yönlere doğru farklı türlerde yayılırlar. Deprem esnasında başlıca iki dalga türü açığa çıkar. Bunlar,

- Cisim dalgaları
- Yüzey dalgaları

Cisim dalgaları, kaynaktan bütün yönlere doğru yayılarak, yer içerisinde seyahat ederler. Yüzey dalgaları ise hemen hemen yer kürenin yüzeyine paralel bir şekilde yayılırlar. Her ne kadar yüzey dalgası hareketi, yerin belirli bir derinliğine kadar inse de, bu tip dalgalar doğrudan yer içine doğru yayılamazlar.

4.1 Cisim Dalgaları

İki temel cisim dalgası vardır. Bunlar yer içerisinde farklı hızlarda yayılan ve kayıtlarda ilk görünen dalgalardır. Cisim dalgaları, yerin derinliklerinde yüzeyine oranla daha hızlı yayılırlar. Bunlar sıkışma ve kesme dalgaları olarak adlandırılan

- **P (Primary yada Pressure)**
- **S (Secondary yada Shear)**

dalgalarıdır.

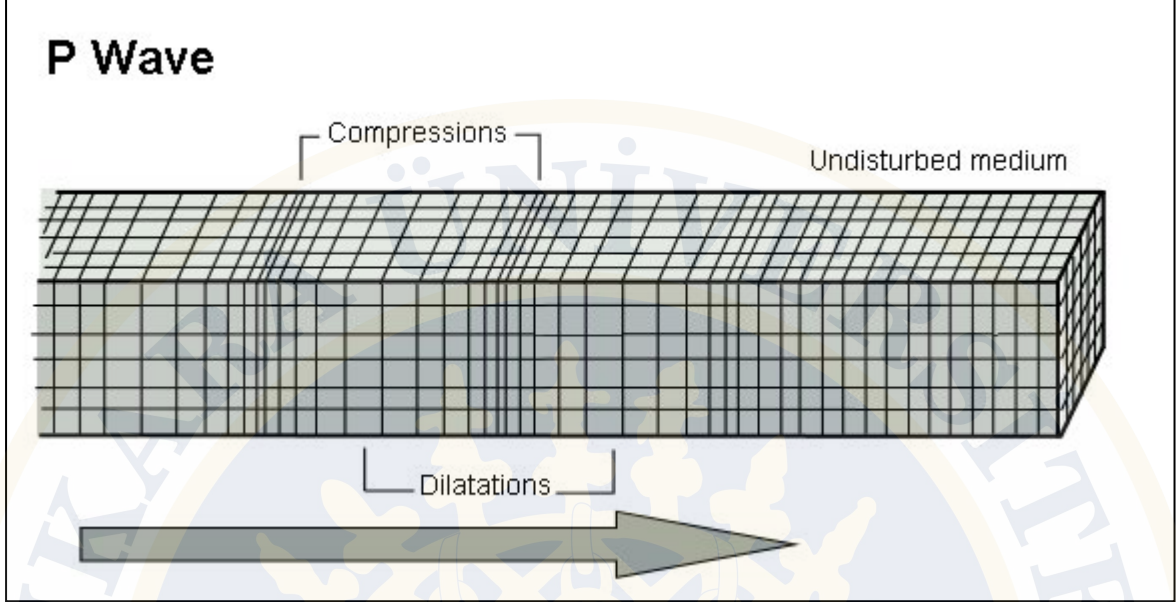
P- Dalgası

Yer içerisinde en hızlı yayılan ve sismometreler tarafından ilk algılanan dalgalardır. Birincil (primary), sıkışma (compressional) veya boyuna (longitudinal) dalga olarak da tanımlanırlar. Bunun anlamı, dalganın yayılma doğrultusu üzerinde bulunan taneciklerin ileri-geri hareketinden dolayı yerin sıkışma ve genişlemeye maruz kalmasıdır (Şekil 1). Sıkışma dalgaları, yaptıkları bir çeşit itme-çekme hareketinden dolayı, geçtikleri ortamın hacimsel değişimine neden olurlar. Ortam üzerinde herhangi bir şekil bozukluğu gözlenmez. P-dalgaları, hem katılar, hem sıvılar hem de gazlar içerisinde kolayca yayılabilirler. Eğer P-dalgaları hava içerisinde yayılırlarsa, bunlar ses dalgaları olarak adlandırılır. Yayılım hızları, S- dalgası hızının yaklaşık 1.7-1.8 katı kadardır. Havadaki hızları yaklaşık 330 m/sn, sudaki hızları 1450 m/sn ve granit içerisindeki hızları ise yaklaşık 5000 m/sn'dir. Depremin episantrına (merkez üssü, dış merkez) yakın bölgelerde bu dalgalar, özellikle hayvanlar tarafından, işitilebilmektedir.

P- dalgaları, istasyonlara ilk gelen dalgalar olduğu için, daha doğru bir şekilde ölçülebilmekte ve bundan dolayı deprem konumlandırma ile bazı yansıma ve kırılma çalışmalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. P- dalga hızı

$$V_p = \sqrt{\frac{(\lambda + 2\mu)}{\rho}} \quad (1)$$

şeklinde verilmektedir. Burada λ , Lamé sabiti μ , katılık ρ ise yoğunluktur.



Şekil 4.1 P- dalgasının yayılım şekli ve tanecik hareketi.

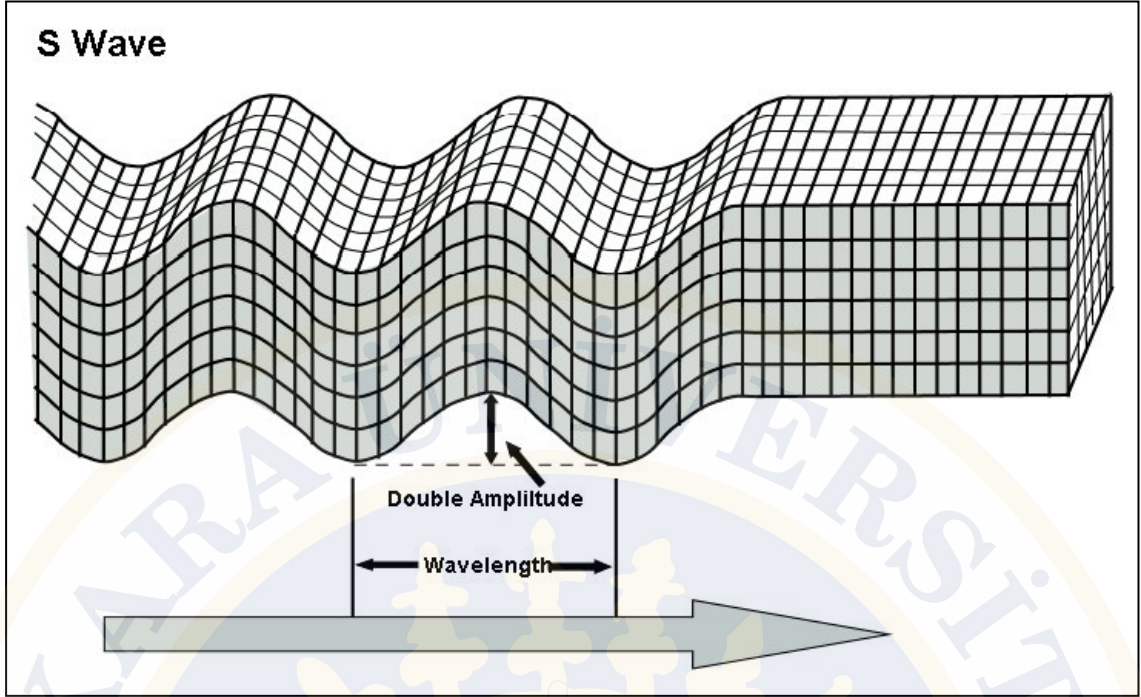
S- Dalgası

P- dalgasından sonra istasyonlara gelen ikinci cisim dalgasıdır. İkincil (secondary), kesme (shear) ya da enine (transverse) dalga tanımları da kullanılmaktadır. S- dalgaları yayılırken tanecikler, yayılma doğrultusuna dik, aşağı-yukarı veya sağdan-sola doğru titreşirler (Şekil 2). Yayılım özelliklerinden dolayı kesme dalgaları bir çeşit burulma hareketi yaptığından geçtikleri ortamda şekil bozukluğuna yol açarlar. S- dalgaları, kesme kuvvetlerine karşı direnci olmayan yani katılık katsayısı sıfır ($\mu = 0$) olan sıvılar ve gazlar içerisinde kesinlikle yayılamazlar. Bu, dış çekirdeği neden sıvı özellikte olarak bildiğimiz bir göstergesidir. Bu nedenle S- dalgaları sadece katılar içerisinde ilerler. S- dalga hızı aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir.

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

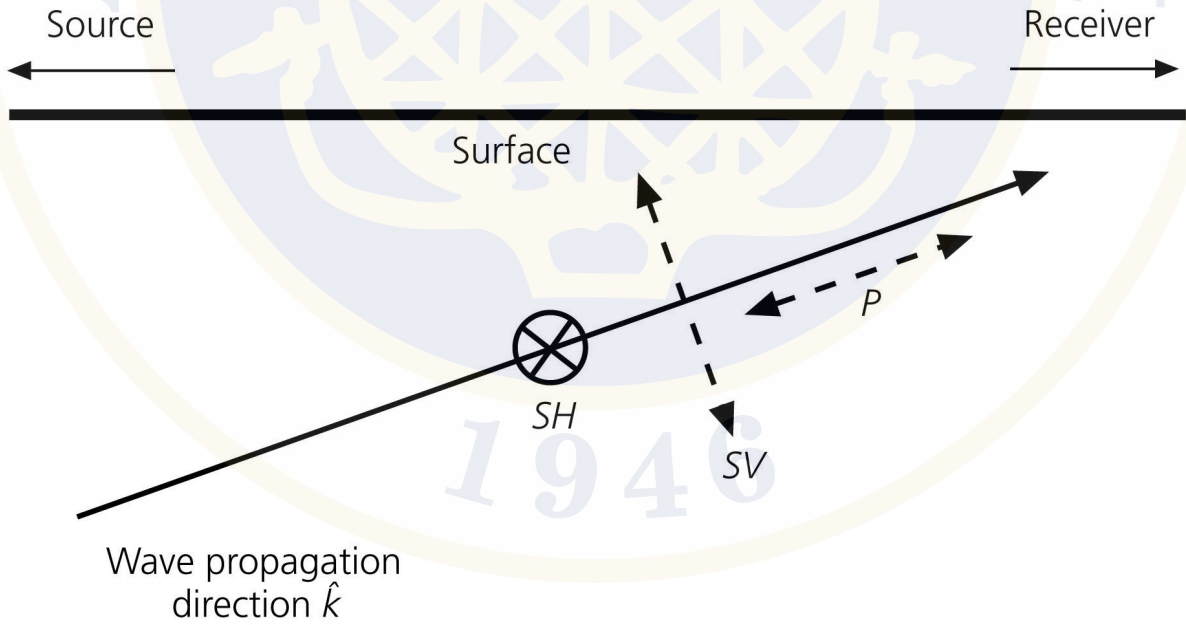
S- dalgaları, P- dalgasının gürültüsü içerisinde geldiği için varış zamanlarını doğru olarak tespit etmek her zaman kolay değildir. Ancak üç-bileşenli sismometrelerle kaydedilmiş sismogramlar üzerinde bu tür dalgaları gözlemlemek mümkündür.

S- dalgasının yatay ve düşey düzlemde olmak üzere iki bileşeni vardır. Yayılma doğrultusuna dik düşey düzlemdeki bileşenine SV, yatay düzlemdeki bileşenine ise SH denmektedir. SV bileşeni sismogramların düşey bileşeninde, SH bileşeni ise diğer iki yatay bileşende (kuzey-güney ve doğu-batı) rahatlıkla gözlenebilir.



Şekil 4.2 S- dalgasının yayılım şekli ve tanecik hareketi.

Herhangi bir deprem kaynağından, istasyona giden P, SV ve SH dalgaları için yer değiştirme vektörleri Şekil 4.3’de görülmektedir.



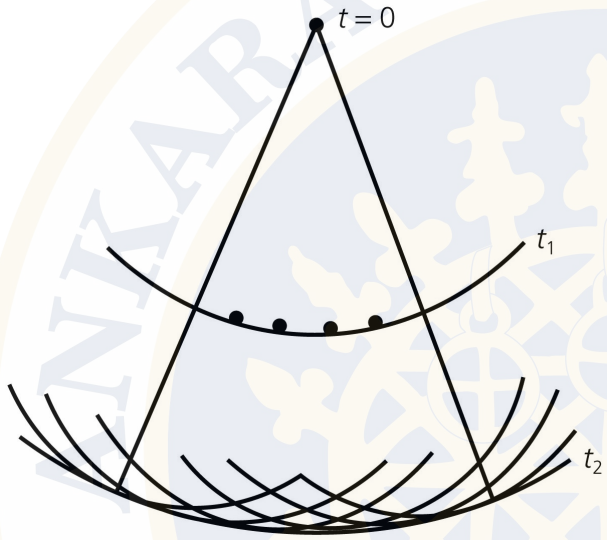
Şekil 4.3 P, SV ve SH dalgaları için yer değiştirme vektörleri

4.1.1. Cisim Dalgalarında Yansıma ve Kırılma

Yer içerisinde yayılan deprem dalgaları, optikteki fizik kurallara benzer şekilde, bir süreksizlik sınırına geldiklerinde kırılır, yansır ve saçılırlar. Deprem dalgalarının bu tür özelliklerini incelemeyen önce bazı temel optik ilkeleri gözden geçirelim.

Huygens İlkesi

İlk kez, 1678 yılında isimli bir fizikçi tarafından ortaya atılmıştır. Bu ilkeye göre, dışa doğru yayılan dalga cephesi üzerindeki her nokta, ikincil dalgalar için bir kaynak gibi davranmaktadır. Zaman içerisindeki bir sonraki dalga cephesi Şekil 4.4'de görüldüğü gibi ikincil dalgalara teğet çizilmesi ile bulunmaktadır.

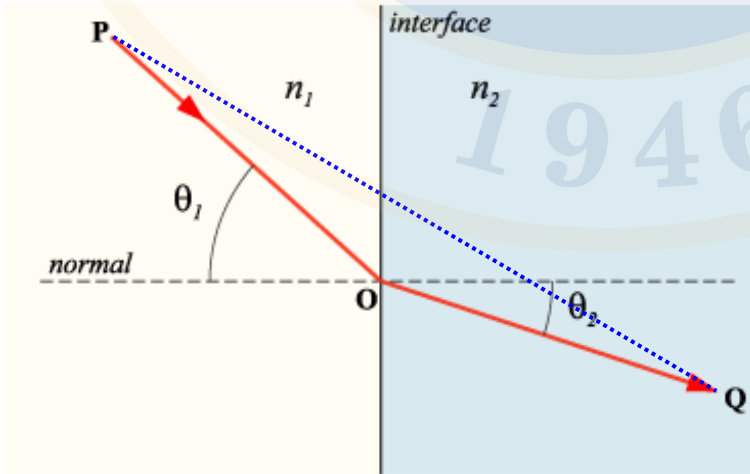


Christian Huygens (1629-1695)

Şekil 4.4 Huygen ilkesinin şematik gösterimi

Fermat Yasası

Fransız hukukçu ve matematikçi Pierre de Fermat (1607-1665), tarafından ortaya atılmıştır. Fermat ilkesi, dalga cephesine dik ışın yollarının geometrisi ile ilgilidir. Bunun anlamı, herhangi bir ışının, iki nokta arasında en kısa zamanda gideceği en kısa yolu izlemesidir.

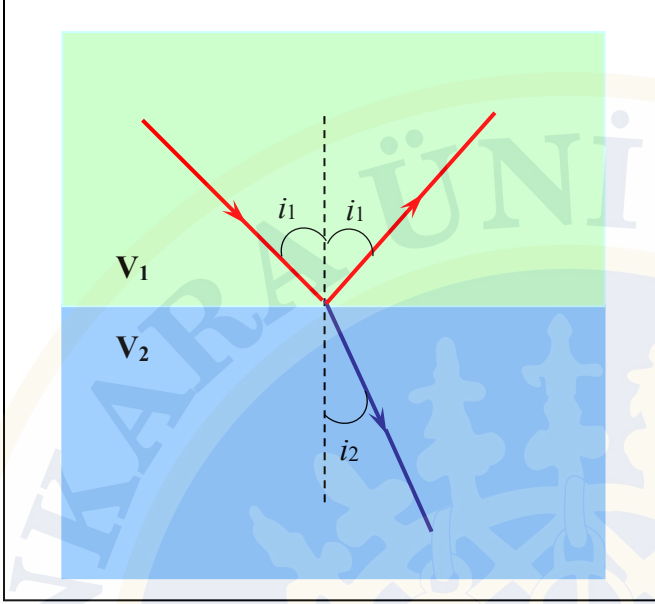


Pierre de Fermat (1607-1665)

Şekil 4.5 Fermat ilkesinin şematik gösterimi

Snell Yasası

Snell yasası ilk kez matematikçi Willebrord van Roijen Snell (1580-1626) tarafından keşfedilmiştir. Snell yasası, farklı yayılma hızına sahip ortamlardaki ışınların kırılmasını hızlar ve açılar arasındaki ilişki ile tanımlamaktadır.



Şekil 4.6 Snell yasasının şematik gösterimi

Willebrord van Roijen Snell (1580-1626)

$$\frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2} \quad (3)$$

Burada V_1 ve V_2 sırasıyla birinci ve ikinci ortamın dalga hızlarıdır ve $V_1 < V_2$ dir. Snell yasasının genelleştirilmiş hali

$$\frac{\sin i}{V} = p \quad (4)$$

ile verilmektedir. Burada p , *sismik parametre*, *ışın parametresi* veya *yatay yavaşlık* olarak adlandırılır. Işın parametresi, ışının seyahat yolu boyunca sabittir. Deprem dalgalarının süreksizlik sınırlarındaki kırılma ve yansımaya olayları, değişik tür cisim dalgaları için birbirinden farklıdır (Şekil 6).

Gelen P-dalgası ise,

- Yansıyan P- dalgası
- Yansıyan SV- dalgası
- Kırılan P- dalgası
- Kırılan SV- dalgası

oluşur ve Snell yasasına göre

$$\frac{\sin i_1}{\alpha_1} = \frac{\sin j_1}{\beta_1} = \frac{\sin j_2}{\beta_2} = \frac{\sin i_2}{\alpha_2} \quad (5)$$

dir. Burada $\alpha_1 < \alpha_2$ ve $\beta_1 < \beta_2$ dir.

Eğer kırılan P- dalgası için $i_2 = 90^\circ$ ise, tam yansıma olayı olur ve bu durumda kritik açı i_c şu şekilde elde edilir;

$$\frac{\sin i_1}{\alpha_1} = \frac{1}{\alpha_2} \quad (6)$$
$$\sin i_c = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad \text{ya da} \quad i_c = \sin^{-1}\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)$$

Eğer kırılan SV dalgası ise kritik açı,

$$\sin i_c = \frac{\alpha_1}{\beta_2} \quad \text{olacaktır.}$$

Gelen SV -dalgası ise,

- Yansıyan SV- dalgası
- Yansıyan P- dalgası
- Kırılan SV- dalgası
- Kırılan P- dalgası

oluşur ve Snell yasasına göre

$$\frac{\sin j_1}{\beta_1} = \frac{\sin i_1}{\alpha_1} = \frac{\sin i_2}{\alpha_2} = \frac{\sin j_2}{\beta_2} \quad (7)$$

dir. Burada $\alpha_1 < \alpha_2$ ve $\beta_1 < \beta_2$ dir.

Gelen SH -dalgası ise,

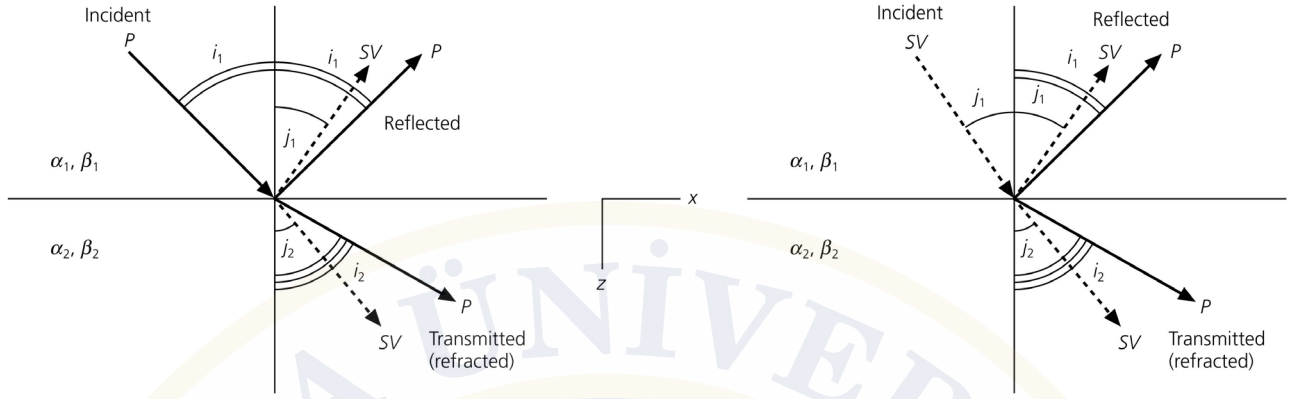
- Yansıyan SH- dalgası
- Kırılan SH- dalgası

oluşur ve Snell yasasına göre

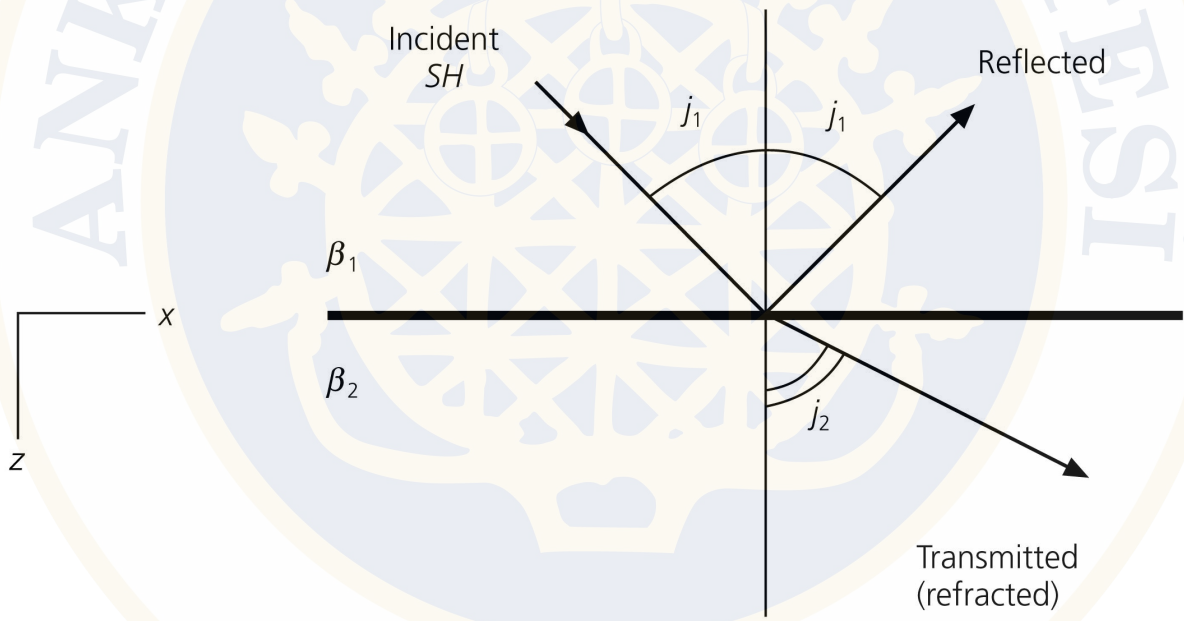
$$\frac{\sin j_1}{\beta_1} = \frac{\sin j_2}{\beta_2} \quad (8)$$

dir. Burada $\beta_1 < \beta_2$ dir.

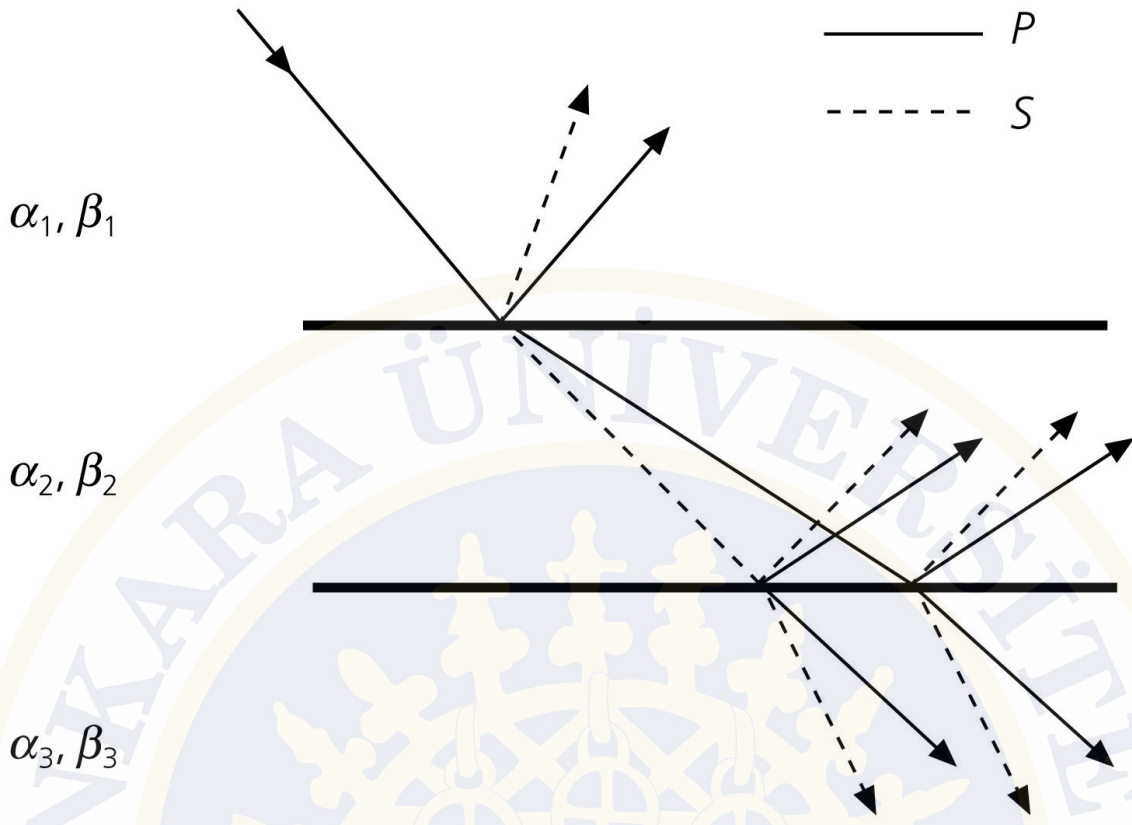
Kritik açı, $\sin i_c = \frac{\beta_1}{\beta_2}$ bağıntısı ile hesaplanır.



Şekil 4.7 Bir ara yüzeye P ve SV dalgalarının gelmesi durumunda, kırılan ve yansıyan dalga türleri



Şekil 4.8 Bir ara yüzeye SH dalgasının gelmesi durumunda, kırılan ve yansıyan dalga türleri



Şekil 4.9 Ardışık katmanlı bir yapı için kırılan ve yansıyan dalgalar.

