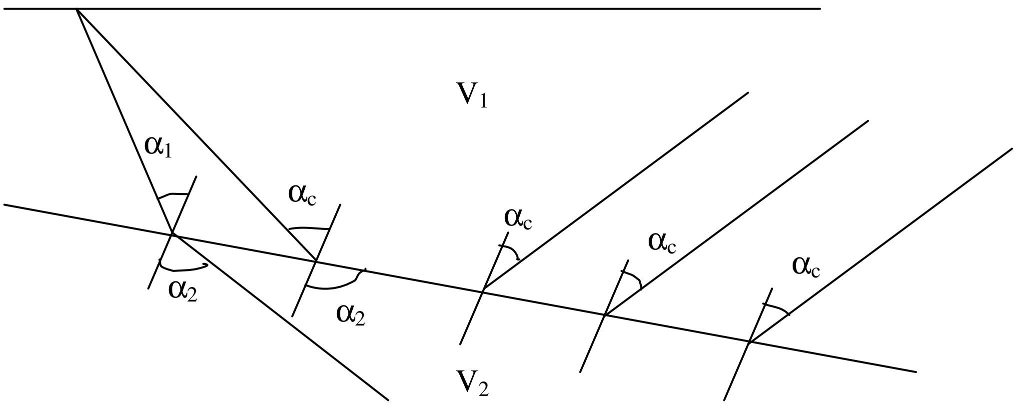
Bölüm 2

SİSMİK KIRILMA METODU

Kaynaktan arayüzeye gelen bir ışın $V_2>V_1$ ise, Snell yasasına göre, ikinci ortamda normalden uzaklaşarak kırılır.



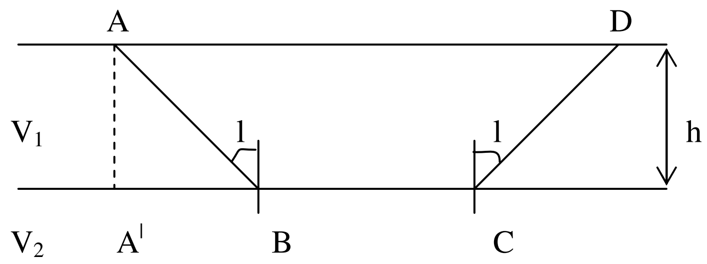
$$\frac{\sin\alpha_1}{V_1} = \frac{\sin\alpha_2}{V_2}$$

bağıntısında α_1 'in belli bir α_c (kritik açı) değeri için; $\sin\alpha_2 = 1$, $\alpha_2 = 90$ olur. Bu durumda Snell bağıntısı;

$$\frac{\sin\alpha_1}{V_1} = \frac{1}{V_2}$$

haline dönüşür. Kırılan ışın iki ara yüzey boyunca V_2 hızıyla yayılır ve Huygens Prensibine göre, arayüzey üzerinde vardığı her nokta yeni bir kaynak gibi davranacağından normalle α_c açısı yaparak yüzeye çıkar. $\alpha_2 = 90$ için oluşan ve arayüzeyde V_2 hızı ile yayılan bu dalgalara kırılma (refraksiyon) dalgaları denir. (Baş ve Cagniard dalgaları da denir.)

2.1. YATAY TABAKA HALİ



Işın, yüzeydeki A kaynak noktasından ara yüzey üzerindeki bir B noktasına l; limit (kritik) açı ile gelsin ve BCD yoluyla yüzeye çıksın. ABCD yoluna ait zaman-mesafe denklemini çıkaralım ve bunun yorumundan ne şekilde yararlanabileceğimizi görelim.

Sismik P dalgaları A dan D ye ulaşmak için iki yol izlerler. Birincisi A ile D arasında V_1 hızıyla alınan direkt yol, ikincisi ise ABCD yoludur. İkinci yol üerinde AB ve CD parçaları V_1 hızı ile BC yolu ise V_2 hızı ile alınır. Buna göre direkt dalganın deklemi aşağıdaki denklem ile verilir.

$$t = \frac{AD}{V_1}$$

Refraksiyon dalgası için zaman ise izleyen şekilde olur.

$$t = \frac{AB}{V_1} + \frac{BC}{V_2} + \frac{CD}{V_1}$$

A kaynak noktası, D alıcı nokta olmak üzere kaynak-alıcı uzaklığı AD=x ve V_1 hızlı tabakanın kalınlığına da h denirse, $AB = CD = \dfrac{h}{\cos l}$ ve $BC = x - 2A'B = x - 2htgl$ olur. Bu bağıntılardan t çekilirse;

$$t = \frac{2h}{V_1 \cos l} + \frac{x - 2htgl}{V_2},$$

$$t=\frac{x}{V_2}+\frac{2h}{V_1\cos l}-\frac{2htgl}{V_2},$$

$$t=\frac{x}{V_2}+\frac{2h}{V_1\cos l}-\frac{2h\sin l}{V_2\cos l}$$

yazılabilir. Snell bağıntısından yararlanarak;

$$\sin l=\frac{V_1}{V_2},$$

$$V_2=\frac{V_1}{\sin l}$$

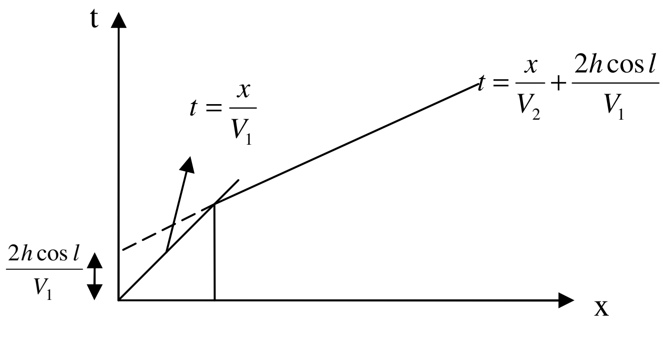
elde edilebilir. $V_2=\dfrac{V_1}{\sin l}$ bağıntısının zaman denkleminde yerine konulmasıyla;

$$t=\frac{x}{V_2}+\frac{2h}{V_1\cos l}-\frac{2h\sin^2 l}{V_1\cos l}\ ,$$

$$t=\frac{x}{V_2}+\frac{2h}{V_1\cos l}(1-\sin^2 l)\ ,$$

$$t=\frac{x}{V_2}+\frac{2h\cos l}{V_1}$$

bulunur. Bu; h, V_1, V_2 sabit ise t ve x arasında bir doğru denklemidir.



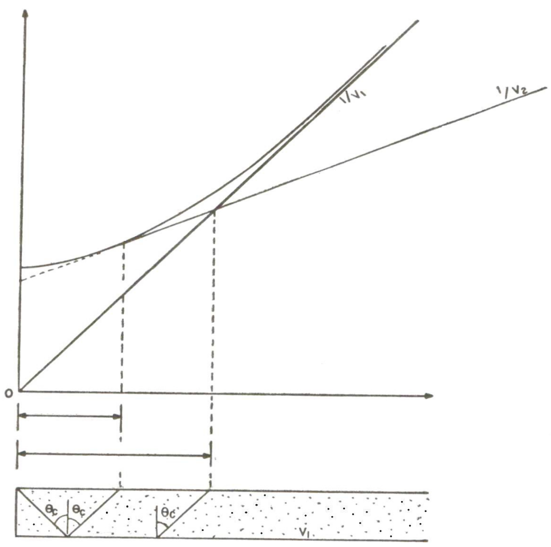
A’dan D’ye doğrudan gelen dalganın denklemi $t = \frac{x}{V_1}$ olarak bulunmuştu. Bu orijinden geçen ve eğimi $\frac{1}{V_1}$ olan doğrudur. Refraksiyon dalgasının geliş zamanı ise $t = \frac{x}{V_2} + \frac{2h\cos l}{V_1}$ ile verilen doğru denklemi ile belirlenir ve eğimi $\frac{1}{V_2}$ ‘dir. Bu doğrunun t eksenini kestiği nokta;

$$I = \frac{2h\cos l}{V_1}$$

intersept adını alır. I; intersept değerinden yararlanılarak tabakanın kalınlığını yani bilmediğimiz h değerini bulmak mümkündür. Bunun için bir refraksiyon etüdü yapılmış ve t-x grafiği çizilmiş olsun. İki doğrunun eğimlerinden V_1 ve V_2 hızları elde edilir. Refraksiyon doğrusu uzatılarak t ekseni kestirilir ve zaman (sn) cinsinden I değeri ölçülür. $V_2 = \frac{V_1}{\sin l}$ ’ten sin*l* ve sin*l*’den de cos*l* elde edilir. $I = \frac{2h\cos l}{V_1}$ denkleminden h değerinin çekilmesiyle; kalınlığı veren bağıntı;

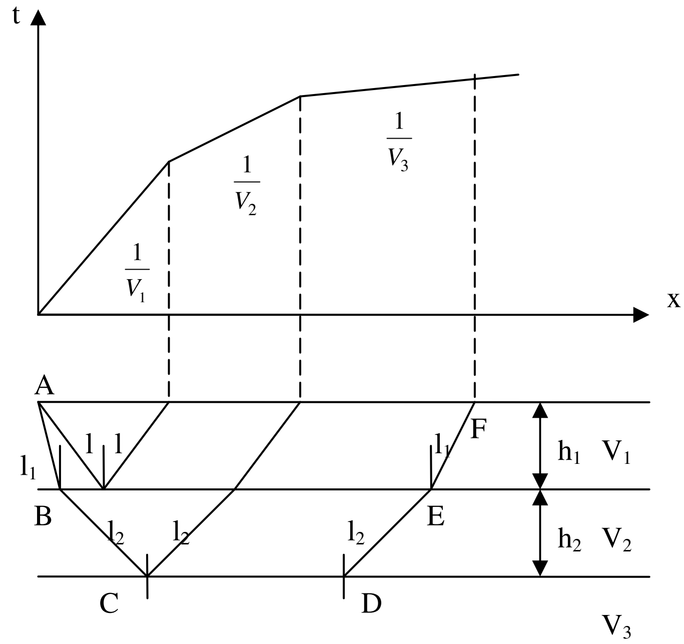
$$h = \frac{IV_1}{2\cos l}$$

olur. Bu denklemde I, V_1, cos*l* değerlerinin yerine konulmasıyla h değeri yani kalınlık bulunur.



Kırılma ve Yansıma Dalgaları Arasındaki İlişki ve Uzaklık-Zaman Eğrileri.

2.2. ÇOK TABAKA HALİ



Üç tabaka halini gözönüne alalım. İki ara yüzeyde de refraksiyon dalgalarının oluşması için $V_1<V_2<V_3$ olmalıdır. l_1; birinci arayüzey için kritik açı ve l_2; ikinci arayüzey için kritik açı olmak üzere Snell bağıntıları;

$$\frac{\sin l_1}{V_1}=\frac{\sin l_2}{V_2}=\frac{1}{V_3}$$

olur. ABCDEF yolunun zaman ifadesi;

$$t=\frac{AB+EF}{V_1}+\frac{BC+DE}{V_2}+\frac{CD}{V_3}\ ,$$

$$t=\frac{2h_1}{V_1\cos l_1}+\frac{2h_2}{V_2\cos l_2}+\frac{x-2h_1 tgl_1-2h_2 tgl_2}{V_3}\ ,$$

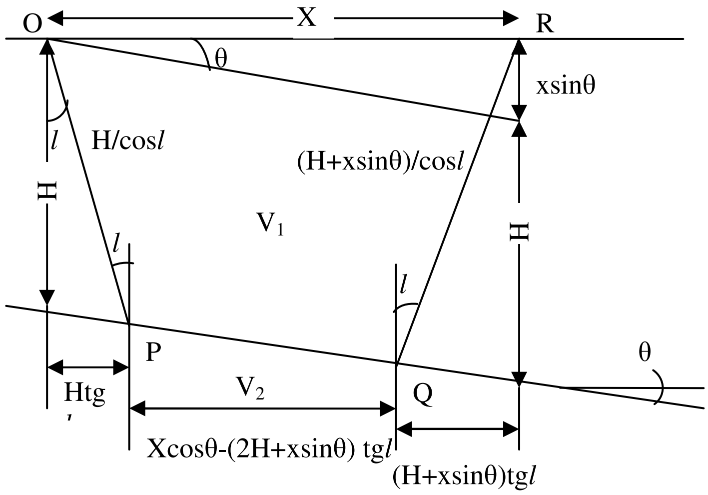
$$t=\frac{x}{V_3}+\frac{2h_2}{V_2\cos l_2}\left(1-\frac{V_2}{V_3}\sin l\right)+\frac{2h_1}{V_1\cos l_1}\left(1-\frac{V_1}{V_3}\sin l_1\right)\ ,$$

$$t = \frac{x}{V_3} + \frac{2h_2}{V_2}\cos l_2 + \frac{2h_1}{V_1}\cos l_1$$

elde edilir. N tabaka için bu bağıntı aşağıdaki hale dönüşür.

$$t = \frac{x}{V_n} + \sum_{i=1}^{n-1}\frac{2h_i}{V_i}\cos l_i$$

2.3. EĞİMLİ TABAKA HALİ



V_1 ve V_2 hızlı ortamları ayıran arayüzey θ eğimli olsun. O'den R'ye doğudan gelen dalga ile OPQR refraksiyon dalga yollarının zaman-mesafe bağıntılarını yazalım. OR için;

$$t = \frac{OR}{V_1} = \frac{x}{V_1}$$

OPQR için;

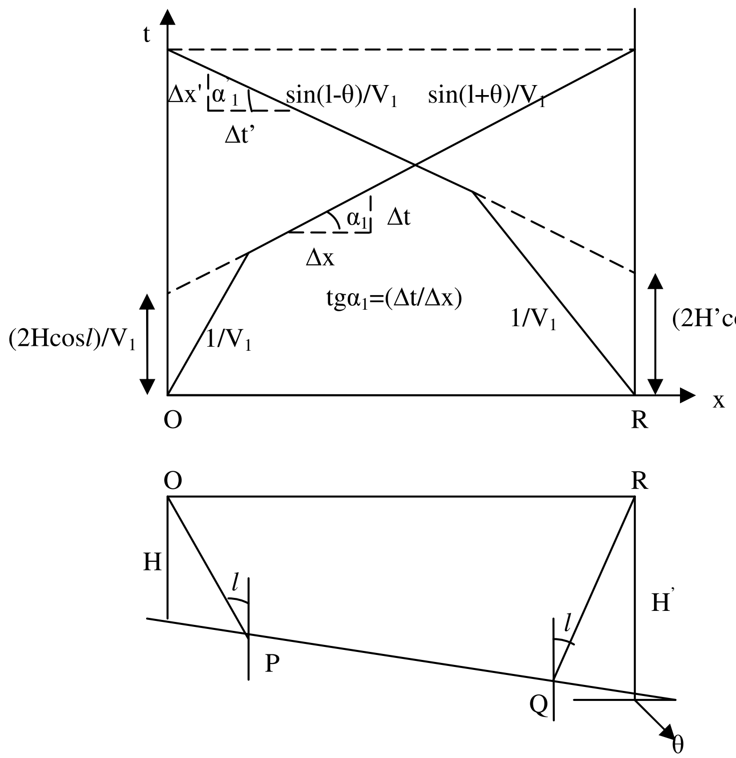
$$t = \frac{H}{V_1 \cos l} + \frac{x\cos\theta - (2H + x\sin\theta)tgl}{V_2} + \frac{H + x\sin\theta}{V_1\cos l} \ .$$

x li terimleri bir tarafa toplar ve $V_2 = \dfrac{V_1}{\sin l}$ bağıntısını kullanırsak;

$$t = \frac{x}{V_1}\left[\sin l \cos\theta + \frac{\sin\theta}{\cos l}\left(1-\sin^2 l\right)\right] + \frac{2H}{V_1 \cos l}\left(1-\sin^2 l\right)$$

$$t = \frac{x\sin(l+\theta)}{V_1} + \frac{2H\cos l}{V_1}$$

elde edilir. Grafikte gösterimi aşağıdaki gibidir.



O dan R ye ağim aşağı atışta kırılma (refraksiyon) doğrusunun eğimi; $\dfrac{\sin(l+\theta)}{V_1}$,

intersept değeri ise (x=0 için t değeri); $\dfrac{2H\cos l}{V_1}$ dir.

t-x denkleminde H kalınlığı ve eğim açısı bilinmemektedir. Çözüm için ikinci bir denkleme daha ihtiyaç vardır. Bunun için R den O ya yapılan eğim yukarı atıştan yararlanılır. Yukarda kullandığımız hesaplama yöntemini bu defa ters yönde RQPO yolu için aynen uygularsak, x yerine –x almak şartıyla, t-x denklemi;

$$t = \frac{x\sin(l-\theta)}{V_1} + \frac{2H'\cos l}{V_1}$$

olarak çıkar. H', R noktasında tabaka kalınlığıdır. Bu bağıntının detaylı bir şekilde çıkarılması öğrenciye bırakılmıştır.

L, θ, H ve H' nün Bulunması:

Refraksiyon doğrularının eğim açıları α_1 ve α_1' olsun.

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} = tg\alpha_1$$

$$\frac{\Delta t'}{\Delta x'} = tg\alpha_1'$$

değerleri grafikten elde edilir. Çıkardığımız t-x formülünden biliyoruz ki;

$\frac{\sin(l+\theta)}{V_1} = tg\alpha_1$ ve $\frac{\sin(l-\theta)}{V_1} = tg\alpha_1'$ dir. Buradan;

$$\sin(l+\theta) = V_1 tg\alpha_1,$$

$$\sin(l-\theta) = V_1 tg\alpha_1'$$

yazılır ve

$$l+\theta = Arc\sin(V_1 tg\alpha_1),$$

$$l-\theta = Arc\sin(V_1 tg\alpha_1')$$

elde edilir. İki eşitliğin sağ tarafı bilindiğine göre l, θ bulunur. O noktasındaki intersept $I_{0;}$

$$I_0 = \frac{2H\cos l}{V_1}$$

ve kalınlık H;

$$H = \frac{I_0 V_1}{2\cos l}$$

‘den bulunur. Benzer şekilde H' de hesaplanır.

V_2 nin Bulunması:

$$tg\alpha_1 + tg\alpha_1' = \frac{\sin(l+\theta)}{V_1} + \frac{\sin(l-\theta)}{V_1}$$

denkleminde θ küçük için; $\sin\theta \cong 1$ ve $\cos\theta \cong 1$ alındığında;

$$tg\alpha_1 + tg\alpha_1' = \frac{\sin l + \theta\cos l + \sin l - \theta\cos l}{V_1}$$

$$tg\alpha_1 + tg\alpha_1' = \frac{2\sin l}{V_1}$$

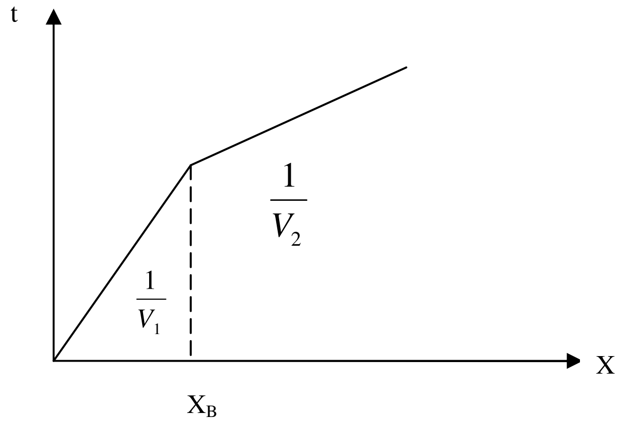
elde edilir. $\frac{V_1}{V_2} = \sin l$ Snell bağıntısından ;

$$\frac{1}{V_2} = \frac{\sin l}{V_1} = \frac{1}{2}\left[tg\alpha_1 + tg\alpha_1'\right]$$

çıkar. İki doğru eğiminin ortalaması, yaklaşık olarak $\frac{1}{V_2}$ yi vermektedir.

2.4. KESİŞME NOKTASI METODU İLE TABAKA KALINLIĞININ TAYİNİ

2.4.1. Yatay Ara Yüzey



X=X_B için iki doğrunun zaman değerleri aynı olduğundan;

$$\frac{X_B}{V_1} = \frac{X_B}{V_2} + \frac{2h\cos l}{V_1}$$

yazılabilir. Snell bağıntısı kullanılarak;

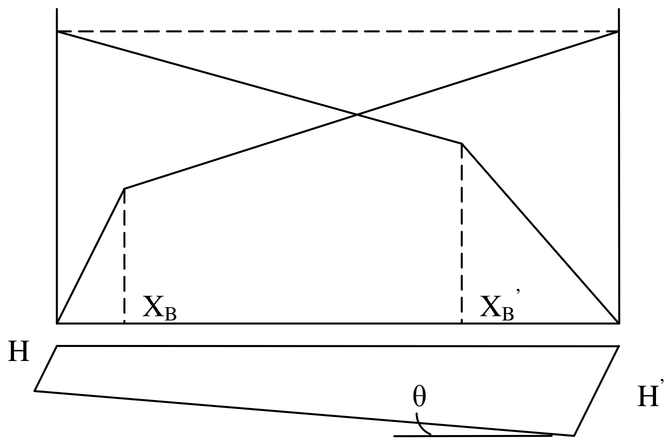
$$\sin l = \frac{V_1}{V_2} \text{ den } \cos l = \sqrt{1 - \frac{V_1^2}{V_2^2}} \text{ alınarak;}$$

$$\frac{X_B}{V_1} = \frac{X_B}{V_2} + 2h\sqrt{\frac{1}{V_1^2} - \frac{1}{V_2^2}}$$

elde edilir. Buradan tabaka kalınlığı aşağıdaki gibi bulunur.

$$h = \frac{X_B}{2}\sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

2.4.2. Eğimli Ara Yüzey



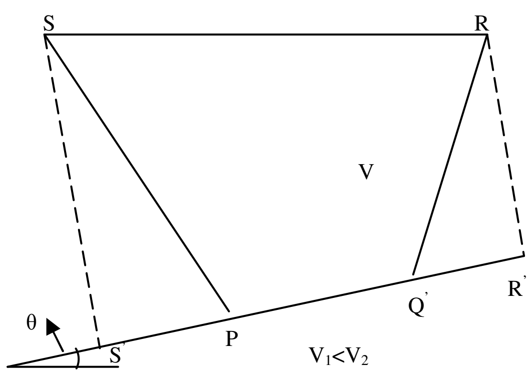
Eğimli refraktör arayüzeyi için bulduğumuz t-x bağıntıları kullanılarak;

$$X_B = \frac{2H\cos l}{1-\sin(l+\theta)};$$

$$X_B = \frac{2H\cos l}{1-\sin(l+\theta)}$$

elde edilir. Buradan, l ve θ biliniyor ise, H ve değerleri X_B ve cinsinden bulunur.

2.5. GECİKMELİ ZAMAN METODU



Şekilde görüldüğü gibi $V_2>V_1$ ve PQ arayüzeyi olsun. θ küçük kabul edilsin. SPQR yoluna ait gecikmeli zaman d tanımı;

$$d = t_{SPQR} - \frac{S'R'}{V_2}$$

şeklindedir.

$$d = t - \frac{S'R'}{V_2} = \left(\frac{SP + RQ}{V_1} + \frac{PQ}{V_2} \right) - \frac{S'R'}{V_2},$$

$$d = \frac{SP + RQ}{V_1} - \frac{S'P + QR'}{V_2},$$

$$d = \left(\frac{SP}{V_1} - \frac{S'P}{V_2} \right) + \left(\frac{RQ}{V_1} - \frac{QR'}{V_2} \right),$$

$$d = d_S + d_R .$$

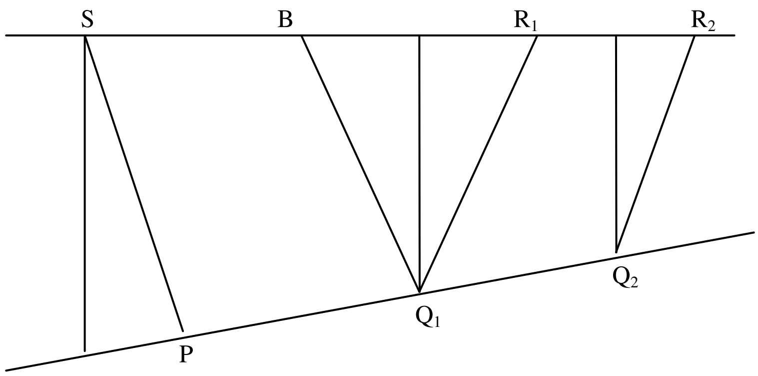
d_S; atış noktası gecikmeli zamanı (shot point delay time)

d_R; jeofon gecikmeli zamanı (geophone delay time).

Eğim küçük kabul edilirse:

$SR \cong S'R'$ alınır ve $d = t_{SPQR} - \frac{SR}{V_2}$ veya SR=x denirse kısaca $d = t - \frac{x}{V_2}$ olur.

d_S ve d_R nin Bulunması:



Yüzeydeki B, R, jeofon pozisyonlarına yeraltında refraktör üzerinde Q, refraktör pozisyonu karşı gelir.

$$d_{SPQ_1R_1} = d_{SP} + d_{Q_1R_1},$$

$$d_{SPQ_2R_2} = d_{SP} + d_{Q_2R_2}$$

eşitliklerini taraf tarafa çıkarırsak;

$$d_{SPQ_1R_1} - d_{SPQ_2R_2} = \Delta d = d_{Q_1R_1} - d_{Q_2R_2}$$

olur. Atış noktasını S yerine B ye taşırsak;

$$d_{BQ_1Q_2R_2} = d_{BQ_1} + d_{Q_2R_2}$$

yazabiliriz.

$d_{BQ_1} \cong d_{R_1Q_1}$ kabul edersek ;

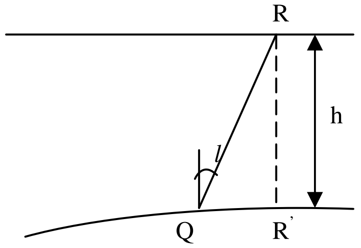
$d_{BQ_1Q_2R_2} \cong d_{R_1Q_1} + d_{Q_2R_2}$ olur. Bu sonucu;

$\Delta d = d_{Q_1B_1} - d_{Q_2R_2}$ ile birleştirirsek;

$$d_{Q_1R_1} \cong \frac{1}{2}\left(d_{BR_2} + \Delta d\right),$$
$$d_{Q_2R_2} \cong \frac{1}{2}\left(d_{BR_2} - \Delta d\right)$$

olur. Benzer şekilde bütün R_3, R_4, ..., R_n jeofon noktalarında gecikmeli zaman hesaplanabilir.

Herhangi bir d_{QR} gecikmeli zamanının hesaplanması:

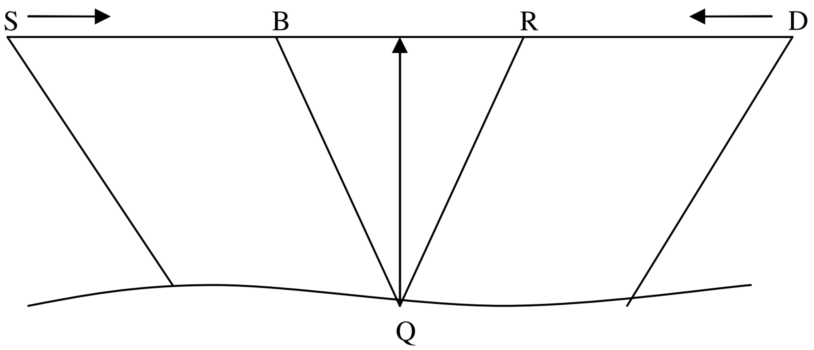


(QR' lokal olarak yatay veya yatay çok yakın kabul edilecektir.)

$$d_{QR} = \frac{QR}{V_1} - \frac{QR'}{V_2} = \frac{h}{V_1 \cos l} - \frac{htgl}{V_2}$$

$$d_{QR} = \frac{h}{V_1 \cos l_1}\left[1 - \frac{V_1}{V_2}\sin l_1\right] = \frac{h}{V_1 \cos l_1}\left[1 - \sin^2 l_1\right] = \frac{h \cos l_1}{V_1}$$

V_1 ve V_2 sabit alınırsa hesaplanan d_{QR} değerinden h tabaka kalınlığı bulunabilir. Ancak daha sağlıklı bir sonuç sağlamak için aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi S den yapılan doğru atışa karşılık D gibi bir noktadan da ters atış yapılır.



Doğru atıştan elde edilen ve refraktör üzerindeki bir Q noktasına ait olan d_{QR} ile ters atıştan elde dilen ve aynı Q noktasına ait olan d_{QB} değerlerinin ortalaması alınır ve bu değer Q noktasına atanır. Ortalama alınmasınınnedenini şöyle açıklayabiliriz. Herhangi bir jeofon noktasına ait gecikmeli zamanı $t - \frac{X}{V_2}$ formülü ile hesaplarken V_2 refraktör hızını tam olarak bilmiyoruz. Bu hesaplamayı yaklaşık ve tahmini bir $V_{2\alpha}$ değeri alarak yaparız. Bundan gecikmeli zaman değerine bir hata girer. Aynı bir Q noktası için doğru ve ters atışların ortalamsı alınırsa bu hata kaybolur. Bunun matematik ispatını yapmayacağız. Ancak ortalama değerin, doğru V_2 nin alınmamasından doğan hatayı giderdiğini söylemekle yetineceğiz.

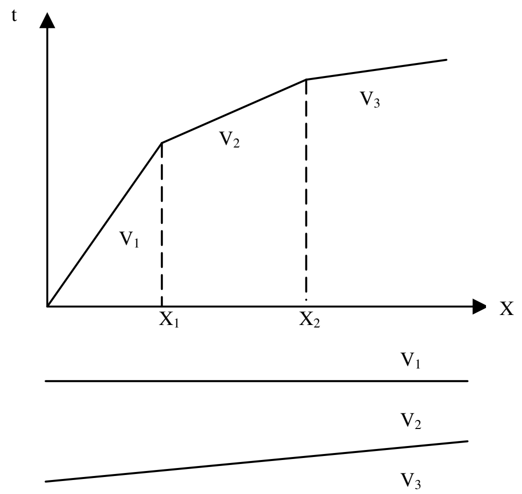
Burada dikkat edilmesi gereken husus şudur: yukardaki şekilde refraktörün Q noktasına, doğru atışın R ve ters atışın B noktaları karşılık gelmektedir. Ortalamaı alınacak değerler de R ve B deki gecikmeli zaman değerleridir. Hangi doğru atış noktasının hangi ters atış noktası ile ortlamaya gireceğini bilmemiz gerekir. Bunun için BR aralığını bilmek yeter. Q civarında tabakayı yaklaşık olarak yatay kabul edersek:

$$Z_Q = \frac{V_1 d_{BQ}}{\cos l_1},$$

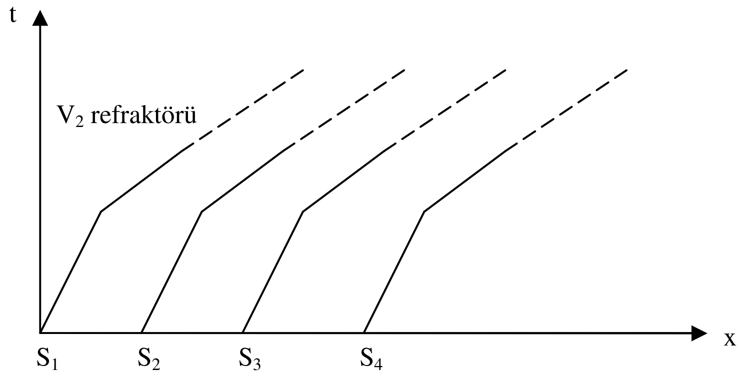
$$BR = 2Z_Q tg l_1 = 2V_1 d_{BQ} \frac{tg l_1}{\cos l_1} = 2V_2 d_{BQ} tg^2 l_1$$

bulunur. V_1, V_2, d_{BQ} bilindiğine göre BR hesaplanmış olur. BR uzaklığındaki doğru ve ters atış gecikmeli zaman değerlerinin ortalaması alınır. Yaklaşık olarak BR nin ortasında kabul edebileceğimiz Q noktasının değeri olarak atanır. Bu uygulama atış hattı boyunca tekrarlanır.

Sürekli ve Gecikmeli Zaman Eğrisinin ve V_2 nin Hesaplanması:

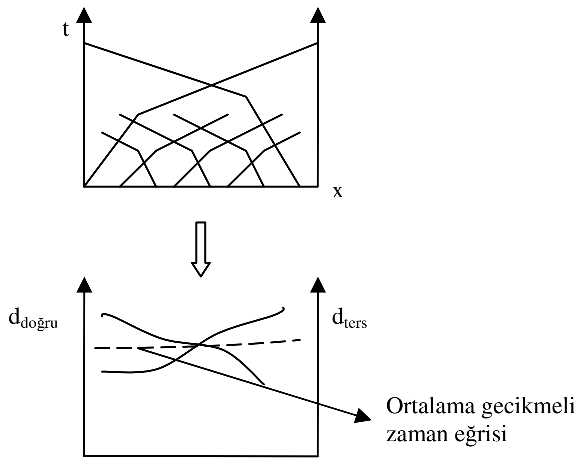


Şekilde görüldüğü gibi bir V_2 refraktörü, ilk geliş zamanı olarak, ancak X_1 ve X_2 arasında izlenebilmektedir. Daha büyük bir kayıt uzunluğu ya V_3 refraktörünü ön plana çıkarır veya V_3 gibi bir refraktör olmasa bile gelen enerji azalır ve V_2 yi izleyemeyiz. Bu güçlüğü aşmak için aşağıda görüldüğü gibi ard arda atışlar yaparız.

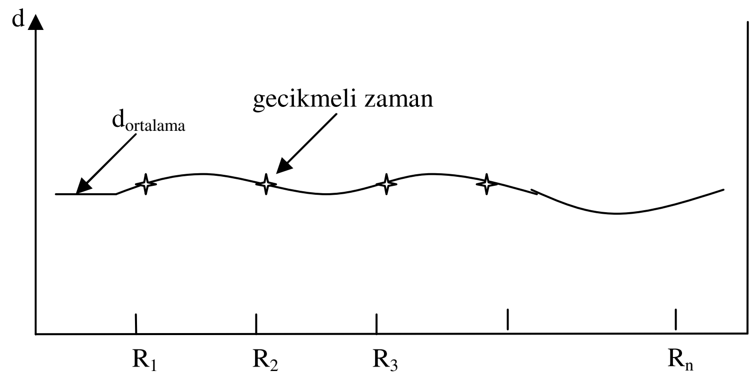


Ancak peşpeşe gelen iki atışa ait refaktör geliş zamanlarının en aşağı bir noktada birbirlerini örtmeleri gerekir. Bu koşul yerine getirildiğinde paralel kaydırma yoluyla sanki S, noktasında atış yapılmış ve bütün X hattı boyunca V_2 refraktörü izlenmiş gibi veri elde edilir.

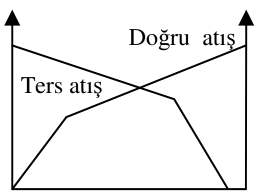
Aynı şey ters atış için de yapılır. Bu t-x verilerinden **sürekli** doğru ve ters atış gecikmeli eğrileri elde edilir. Bu iki eğrinin ortalamsı alınarak (Her iki yönde verinin mevcut olduğu aralıkta) ortalama gecikmeli zaman eğrisi elde edilir. İspat edilir ki ortalama eğri refraktöre paraleldir.



Daha açık bir ifade ile $d_{ortalama}$ nın eğimi $\frac{\theta \cos l}{V_1}$ den bulunur. θ eğim açısıdır. O halde $d_{ortalama}$ tabakanın yeraltındaki konumunu yansıtır. Mutlak değer oarak $d_{ortalama}$ yı zaman ekseninde yerine oturtmak gerekir. Bunun için de aşağıda görüldüğü gibi daha önce bazı noktalarda hesaplanmış olan gecikmeli zaman değerleri üzerine, en iyi çakışacak şekilde, $d_{ortalama}$ oturtulur.

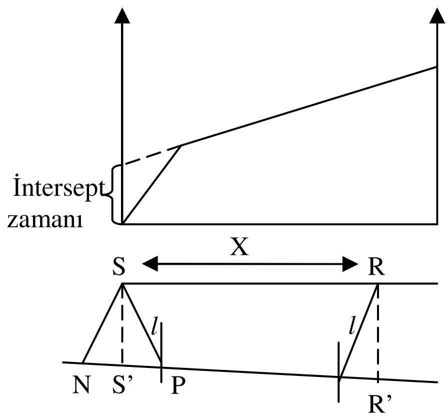


V_1 ve V_2 sabit alınır ise gecikmeli zaman eğrisine çevrilebilirler. $d = \dfrac{h\cos l}{V_1}$ olduğunu biliyoruz. V_2 yi de elde ettiğimiz **sürekli** doğru ve ters atış eğrilerinden, eğimli tabaka halinde uyguladığımız yöntemi uygulayarak buluruz.



Delay Time (Gecikmeli Zaman) ile Intersept Arasındaki İlişki:

$t - \dfrac{X}{V_2} = d = d_S + d_R$ gecikmeli zaman hesaplanamsında x=0 için d değeri intersept zamanına karşı gelir.

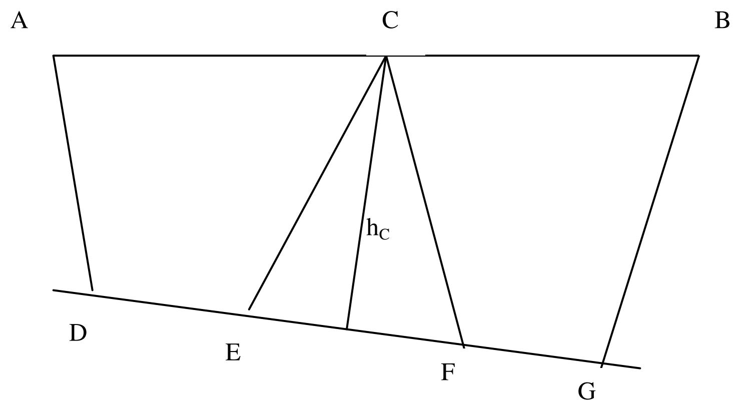


$d = d_S + d_R = \left(\dfrac{SP}{V_1} - \dfrac{S'P}{V_2}\right) + \left(\dfrac{QR}{V_1} - \dfrac{QR'}{V_2}\right)$ değeri R nokyası S e doğro gittiğinde yani $x \to 0$ olduğunda:

$$d = \left(\frac{SP}{V_1} - \frac{S'P}{V_2} \right) + \left(\frac{SN}{V_1} - \frac{NS'}{V_2} \right)$$

haline dönüşür. Bu S noktasındaki intersept zamanıdır. Gerçekte $\frac{SN}{V_1} - \frac{NS'}{V_2}$ izlenmez. Bu zahiri gerçekte mevcut olmayan biryola karşı gelir. Zira x=0 da henüz refraksiyon dalgası oluşmaz. İntersepti, refraksiyon duğrusunu uzatark zahiri bir değr olarak elde ediyoruz. Bilindiği gibi refraksiyon, ışın arayüzeye limit açı l ile geldiği andan itibaren başlar.

2.6. ARTI-EKSİ (PLUS-MINUS) METODU



A dan ve B den C ye refraksiyon geliş zamanı ile AB arası refraksiyon geliş zamanı verilmiş olsun. $t_{ADEC} + t_{BGFC} - t_{ADGB}$ yolunu hesaplayalım.

$$\text{yol} = \left(\frac{AD+CE}{V_1} + \frac{DE}{V_2} \right) + \left(\frac{BG+CF}{V_1} + \frac{GF}{V_2} \right) - \left(\frac{AD+BG}{V_1} + \frac{DE+EF+FG}{V_2} \right),$$

$$\text{yol} = \frac{CE+CF}{V_1} - \frac{EF}{V_2}\ .$$

Bu değer C noktasındaki intersepte yani $\frac{2h_c \cos l}{V_1}$ ‘ e eşittir.Buradan h_C bulunur.Aynı işlem refraksiyon atış hattı boyunca tekrarlanarak değişik noktalarda tabaka kalınlığı elde edilir.