

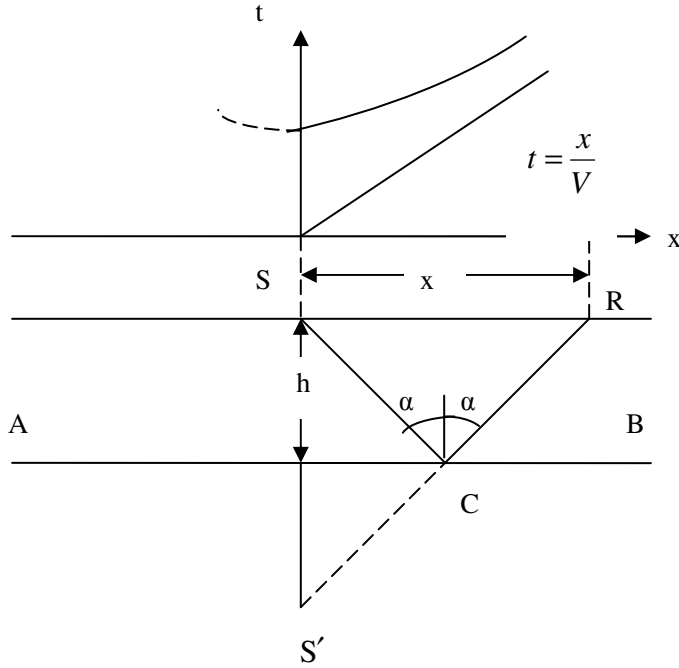
Bölüm 3

SİSMİK YANSIMA METODU

Yansımanın Geometrisi:

Yeraltında hız süreksizliklerine karşı gelen arayüzeyler sismik dalgara (ışınlara) karşı ayna gibi davranırlar. Yansımanın geometrisi de bu prensipten hareket edilerek çıkarılır. İki boyutlu sismik yansıma, bir hat boyunca yerleştirilen bir kabloya bağlı alıcılara (jeofonlar) yoluyla gerçekleştirilir. Bir enerji kaynağının (dinamit vs.) oluşturduğu sismik dalgalar yansıma yüzeyinden yansıyarak alıcılara gelirler. Alıcılar da gelen sinyalleri sismik kayıt cihazına iletirler. Şimdi bir hat boyunca alınan bu kayıtların geometrisine göz atalım.

3.1. YATAY YANSIMA YÜZEYİ HALİ



S atış noktası, R yüzeydeki jeofonlardan biri ise: jeofona yansıyıp gelen SCR ışın yoluyla ilgili t-x bağıntısını yazalım. Ortamın hızı V ise;

$$t = \frac{SC + SR}{V} = \frac{S'R}{V}$$

Burada S'; 'S' nin AB'ye göre simetriğidir. SS'R dik üçgeninde;

$$V^2 t^2 = x^2 + 4h^2$$

yazılabilir. Bu eşitlik aşağıdaki şekilde de yazılabilir.

$$\frac{V^2 t^2}{4h^2} - \frac{x^2}{4h^2} = 1$$

bu bir hiperbol denklemdir. S'ten R'ye doğrudan gelen dalganın denklemi olan;

$$t = \frac{x}{V}$$

doğrusu da bu hiperbolün asimtotudur.

$$t^2 = \frac{x^2}{V^2} + \frac{4h^2}{V^2}$$

zaman-uzaklık denkleminde $x=0$ için $t = \frac{2h}{V}$ değeri (dik geliş-gidiş zamanı) t_0 ise;

$$t^2 = \frac{x^2}{V^2} + t_0^2$$

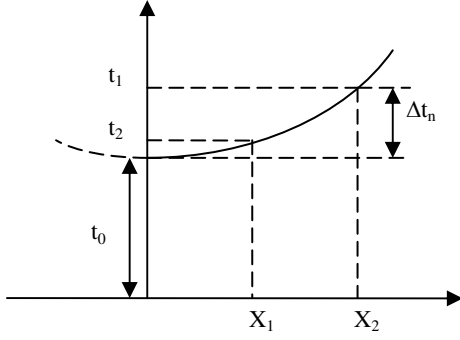
yazılabilir. Bu denklemi;

$$t^2 = t_0^2 \left[1 + \frac{x^2}{V^2 t_0^2} \right]$$

haline dönüştürüp iki tarafın karekökünü alırsak;

$$t = t_0 \left[1 + \left(\frac{x}{V t_0} \right)^2 \right]^{1/2} \cong t_0 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x}{V t_0} \right)^2 \right]$$

elde edilir (seriye açıp ilk iki terimi alarak).



Herhangi iki X_1 ve X_2 uzaklıklarına karşı gelen geliş zamanları t_1 ve t_2 ise;

$$\Delta t = t_2 - t_1 \cong \frac{X_2^2 - X_1^2}{2V^2 t_0}$$

olur. Bu Δt değerine **movout** denir. $X_1=0$ yani atış noktasını alırsak Δt değerine **Normal movout (N.M.O.)** adı verilir. N.M.O. yansıma metodunda sık karşılaştığımız önemli bir kavramdır.

3.2. EĞİMLİ ARAYÜZEYDE YANSIMA

O atış noktasında tabaka kalınlığı $ON=h$ olsun. OQR yolunu gözönüne alalım. Bu yol O noktasının yansıma yüzeyine göre simetriği olan O' noktasından başlayan $O'QR$ yoluna eşittir. $O'N=ON=h$ olduğuna göre, $O'RO$ üçgenine cosinüs teoremini uygulayarak;

$$(Vt)^2 = (2h)^2 + x^2 - 2\left(2hx \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)\right) = 4h^2 + x^2 + 4hx \sin \theta$$

yazılabilir. Bu son ifadeyi;

$$V^2 t^2 = x^2 + 4h^2 \left(\overbrace{\sin^2 \theta + \cos^2 \theta}^1 \right) + 4hx \sin \theta$$

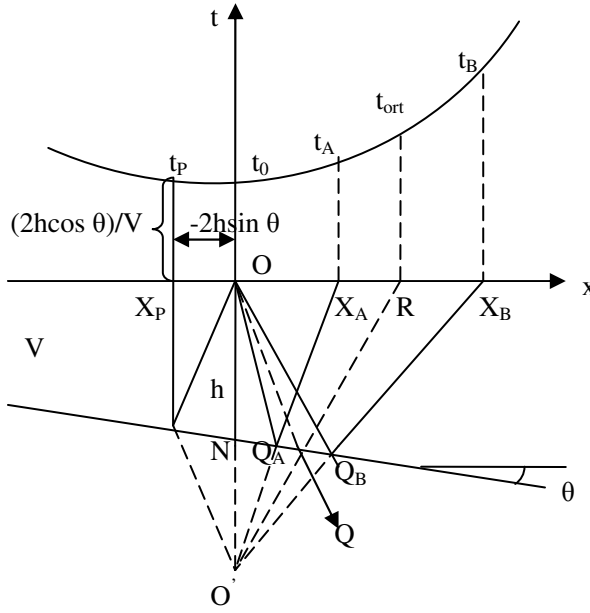
şeklinde yazarsak,

$$V^2 t^2 - (x^2 + 4h^2 \sin^2 \theta + 4hx \sin \theta) = 4h^2 \cos^2 \theta$$

olur. Parantez içi tam karedir. Buradan:

$$\frac{V^2 t^2}{(2h \cos \theta)^2} - \frac{(x + 2h \sin \theta)^2}{(2h \cos \theta)^2} = 1$$

çıkar. Bu da bir hiperbol denklemdir. Ancak denklemin incelenmesinden simetri ekseninin, koordinatları $X_P = -2h \sin \theta$ ve $t_P = \frac{2h \cos \theta}{V}$ olan P noktasından geçtiği görülebilir. Demek ki hiperbolün minimumu O noktasından değil X_P noktasından geçer. $X_P = -2h \sin \theta$ ve $t_P = \frac{2h \cos \theta}{V}$ bağıntılarından, X_P ve t_P grafik üzerinde belirlenmişse eğim açısı θ ve tabaka kalınlığı h bulunabilir.



Eğim Açısının Başka Türü Bulunması:

Bunun için hiperbol üzerinde iki t_A ve t_B değerinden hareket edeceğiz. $t_{ortalama} = \frac{1}{2}(t_A + t_B)$

olsun.(Kısaca t_{or} olarak göstereceğiz.) Yukarıda yazdığımız bağıntıya benzer şekilde:

$$(Vt_A)^2 = (2h)^2 + X_A^2 + 4hX_A \sin \theta$$

$$(Vt_B)^2 = (2h)^2 + X_B^2 + 4hX_B \sin \theta$$

yazabiliriz. İki eşitliği alt alta çıkartırsak:

$$V^2(T_B^2 - T_A^2) = (X_B^2 - X_A^2) + 4h(X_B - X_A) \sin \theta$$

olur. Buradan aşağıdaki ifade bulunur.

$$\sin \theta = V^2 \frac{T_B^2 - T_A^2}{4h(X_B - X_A)} - \frac{X_B^2 - X_A^2}{4h(X_B - X_A)} = \frac{V^2(T_B^2 - T_A^2)}{4h(X_B - X_A)} - \frac{X_B + X_A}{4h}$$

$X=0$ da: $t=t_0$; $2h=Vt_0$; $T_B - T_A = \Delta t$; $T_{OR} = \frac{1}{2}(T_B + T_A)$ alırsak yukardaki ifade;

$$\sin \theta = \frac{VT_{OR}\Delta t}{t_0(X_B - X_A)} - \frac{(X_B - X_A)}{2Vt_0}$$

şekline dönüşür.

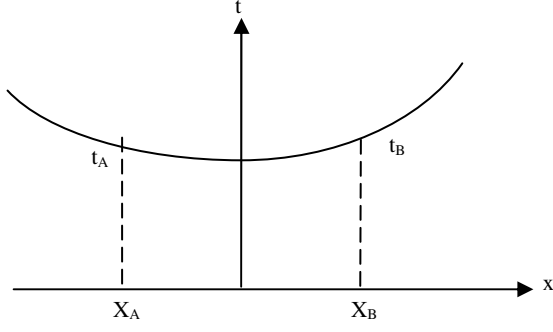
Eğer X_A noktasını orijinde alırsak, yani $X_A = 0$ koyarsak;

$$\sin \theta = \frac{VT_{OR}\Delta t}{t_0 X_B} - \frac{X_B}{2Vt_0}$$

elde edilir.

Eğer iki taraflı atış yaparsak, yani $X_A = -X_B$ olursa:

Yukarda elde ettiğimiz $\sin \theta = \frac{V^2(T_B^2 - T_A^2)}{4h(X_B - X_A)} - \frac{X_B + X_A}{4h}$ frmülünde X_A yerine $-X_B$ koyarsak:



$$\sin \theta = \frac{V^2(T_B^2 - T_A^2)}{8hX_B} = \frac{2V^2T_{OR}\Delta t}{4Vt_0X_B} = \frac{VT_{OR}\Delta t}{2t_0X_B}$$

bulunur. Yaklaşık olarak $t_{OR}=t_0$ alırsak;

$$\sin \theta \cong \frac{V\Delta t}{2X_B}$$

çıkar. $2X_B=\Delta X$ dersek;

$$\sin \theta = \frac{V\Delta t}{\Delta X}$$

formülüne ulaşılır. Burada $\Delta t=t_B-t_A$ ve $\Delta X=X_B-X_A$ olduğunu unutmayalım. Küçük açılar için eğim açısı;

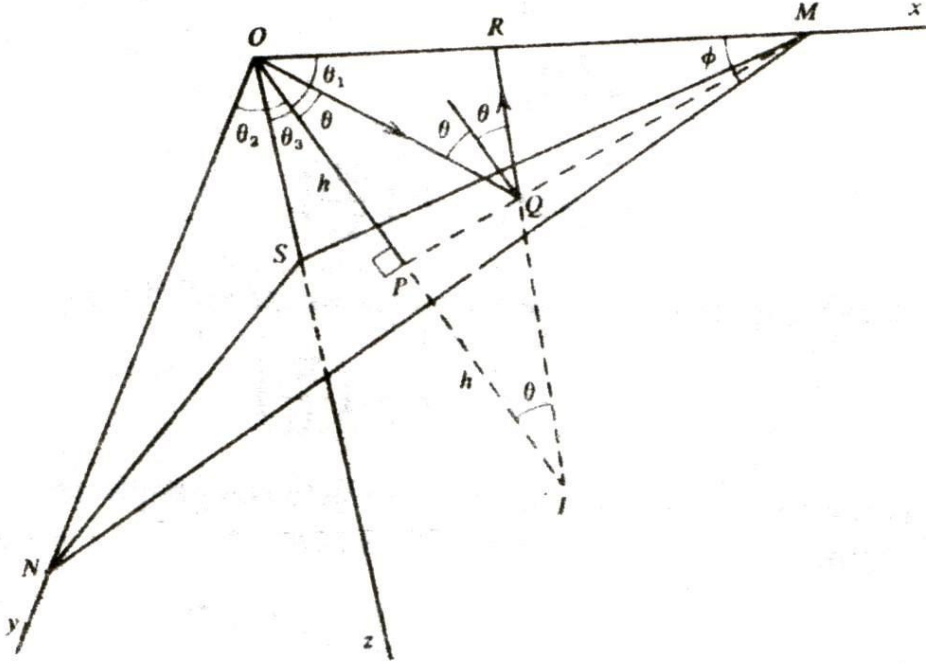
$$\theta \cong \frac{V\Delta t}{\Delta X}$$

yazabiliriz. Ancak bu tabakanın profil boyunca gösterdiği eğimdir. Gerçek eğim üç boyutta bulunur.

Üç Boyutta Eğimi Bulmak:

Üç boyutta eğimi bulmak için iki profil boyunca yapılan atış verilerine ihtiyaç vardır. Bu iki profil hattı yatay düzlemde birbirine dik OX ve OY düzlemleri olsun (Birbirleriyle açı yapan

iki profil durumunu sonra göreceğiz). Gerçek eğimini bulmak istediğimiz arayüzey NSM olsun. O atış noktası R jeofon ise $OP=h$ arayüzeye dik; I noktası O noktasının NSP düzlemine göre simetriğidir. OQR yansıma yolu IQR ye eşit olacaktır.



$\theta_1; \theta_2; \theta_3$ OP nin x, y, z eksenleri ile yaptığı açılar ve $l=\cos \theta_1; m=\cos \theta_2; n=\cos \theta_3$ ise analitik geometriden $l^2+m^2+n^2=1$ olduğunu biliyoruz. R noktasının koordinatları $(x, 0, 0)$ ve I noktasını koordinatları $(2hl, 2hm, 2hn)$ olduğuna göre;

$$V^2 t^2 = \overline{IR}^2 = (x - 2hl)^2 + (0 - 2hm)^2 + (0 - 2hn)^2$$

$$V^2 t^2 = x^2 + 4h^2(l^2 + n^2 + m^2) - 4hlx$$

$$V^2 t^2 = x^2 + 4h^2 - 4hlx$$

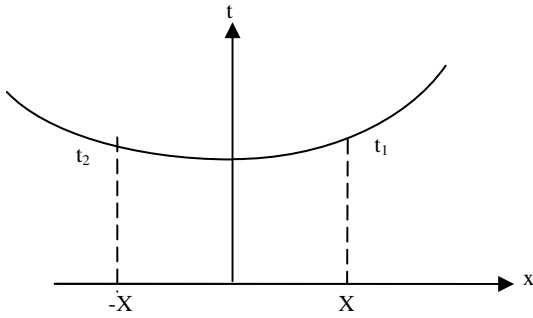
bulunur. $x=0$ için $t = \frac{2h}{V} = t_0$ alırsak;

$$t = \frac{2h}{V} \left(1 + \frac{x^2 - 4hlx}{4h^2} \right)^{1/2}$$

$$t = t_0 \left(1 + \frac{x^2 - 4hlx}{4h^2} \right)^{1/2} \cong t_0 \left(1 + \frac{x^2 - 4hlx}{8h^2} \right)$$

bulunur. R nin O ya göre simetriği noktasını jeofon olarak alırsak yukardakine benzer şekilde:

$$t = t_0 \left(1 + \frac{x^2 + 4hlx}{8h^2} \right) \text{ bulunur.}$$



$-x$ için t değeri t_2 ; x için t değeri t_1 olsun, taraf tarafa çıkarırsak;

$$t_2 - t_1 = \Delta t_x = t_0 \left[1 + \frac{x^2}{8h^2} + \frac{4hlx}{8h^2} - 1 - \frac{x^2}{8h^2} + \frac{4hlx}{8h^2} \right],$$

$$\Delta t_x = t_0 \frac{8hlx}{8h^2} = t_0 \frac{lx}{h}$$

bulunur. Bu son bağıntıda $h = \frac{t_0 V}{2}$ konursa;

$$\Delta t_x = \frac{2lx}{V}$$

elde edilir. $2x = \Delta x$ dersek;

$$\Delta t_x = \frac{l \Delta x}{V}$$

çıkar. Buradan;

$$l = \cos \theta_1 = V \frac{\Delta x}{\Delta t_x}$$

bulunur. Benzer şekilde y ekseninde yapılan iki taraflı simetrik atışta;

$$m = \cos \theta_2 = V \frac{\Delta y}{\Delta t_y}$$

elde edilir. x ve y profilleri üzerinde yapılan iki atıştan bulunan l ve m yardımı ile

$$n = \cos \theta_3 = \left[1 - (l^2 + m^2)\right]^{1/2}$$

bulunur. Buradan;

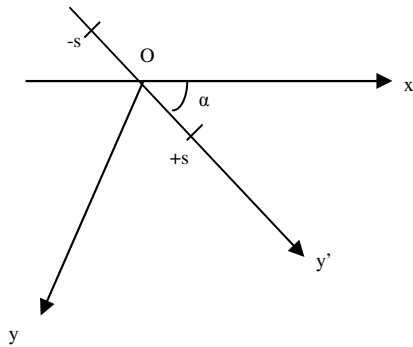
$$\sin \theta_3 = (1 - n^2)^{1/2} = (l^2 + m^2)^{1/2} = V \left[\left(\frac{\Delta t_x}{\Delta x} \right)^2 + \left(\frac{\Delta t_y}{\Delta y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

bağıntısına ulaşılır. Eğer $\Delta y = \Delta x$ ise;

$$\sin \theta_3 = V \frac{[\Delta t_x^2 + \Delta t_y^2]^{1/2}}{\Delta x}$$

elde edilir. θ_1 ; θ_2 ; θ_3 değerleri bilindiğinde NSM düzleminin konumu belli olur. (OP=h değeri O noktasındaki t_0 değerinden bulunur.)

x ve y profillerinin her zaman birbirine dik olması beklenemez. İki profil aralarında bir α açısı yaptığı takdirde yine her iki profil üzerinde O noktasına göre simetrik iki taraflı atış yapılır.

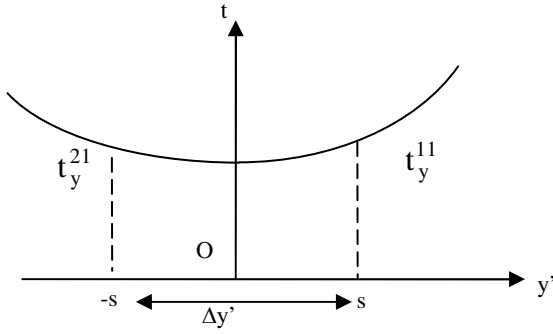


Bir x, y, z koordinat sistemine göre bu iki profilden biri x koordinat eksenine ile çakışsın. Diğeri x ile açısı yapan bir y profili olsun (x ile y arasındaki açıdır.). üzerinde iki taraflı atışın uç noktaları (O noktasına göre) +S ve -S uzaklığında olsun. Bu noktaların koordinatları, x, y, z koordinat sisteminde, $\pm S \cos \alpha$, $\pm S \sin \alpha$, sıfır olacaktır. O zaman;

$$V^2 t^2 = (2hl \pm S \cos \alpha)^2 + (2hm \pm S \sin \alpha)^2 + (2hn)^2,$$

$$V^2 t^2 = S^2 + 4h^2 \pm 4hS(l \cos \alpha + m \sin \alpha)$$

bulunur.



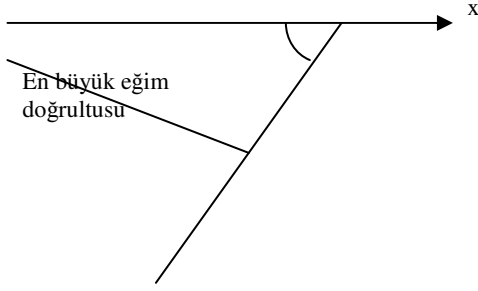
$$t_y^{21} - t_y^{11} = \Delta t_{y'} = \frac{\Delta y'}{V} (l \cos \alpha + m \sin \alpha)$$

veya

$$l \cos \alpha + m \sin \alpha = V \left(\frac{\Delta t_{y'}}{\Delta y'} \right)$$

çıkar. x profili üzerinde yapılan atış daha önce gördüğümüz gibi gerçekleştirildiğinden, o atıştan l bulunur. α çısı da bilindiğine göre bu iki l ve α değerleri son bağıntıda yerlerine konursa m bulunur ve problem çözüme ulaşır.

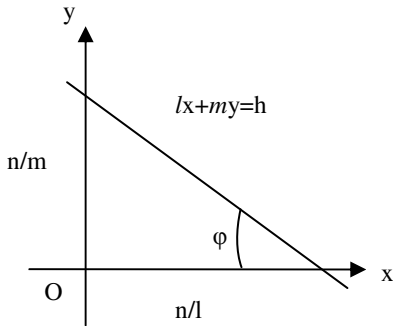
En Büyük Eğim Doğrultusunun Bulunması:



Bu doğrultuya dikin x eksenini ile yaptığı açı φ olsun. $lx+my+nz=h$ yazılabilir (h tabakanın O noktasındaki kalınlığıdır). $z=0$ için; $lx+my=h$ olur.

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{h/m}{h/l} = \frac{l}{m} = \frac{\Delta t_x}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t_y}.$$

Eğer $\Delta x = \Delta y$ ise bu son ifade $\frac{\Delta t_x}{\Delta t_y}$ olur. Geometrik olarak bunu aşağıdaki gibi gösterebiliriz.



3.3. DİFRAKSİYON

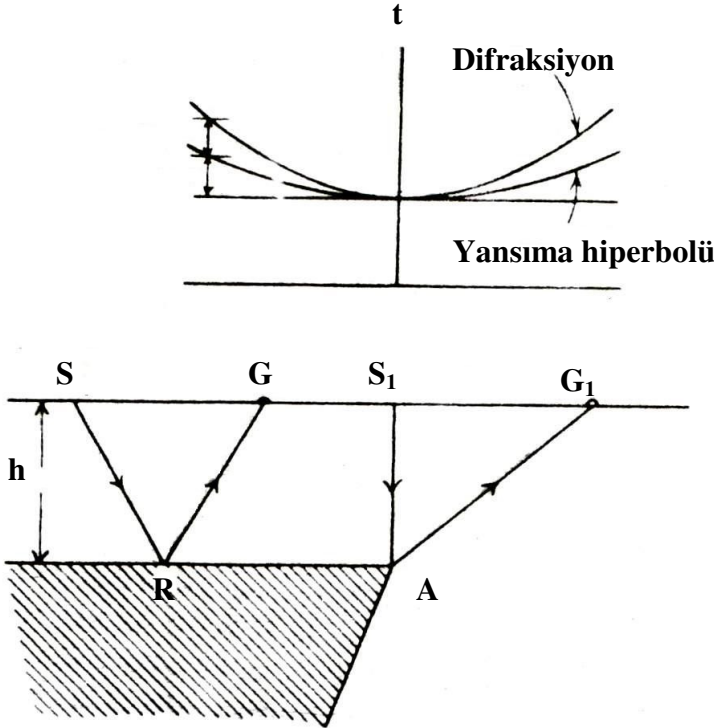
Yansıma yüzeyinin fay ve benzer nedenlerle süreksizlik gösterdiği noktalarda yansıma yerine difraksiyon olayı oluşur. A noktasının sol tarafında yansıma yüzeyi üzerindeki her R noktası için

$$t = \frac{1}{V} (x^2 + 4h^2)^{1/2} \cong \frac{2h}{V} + \frac{x^2}{4Vh} = t_0 + \Delta t_n$$

yazılabilir. Yansıma noktası A ise bu noktada normal yoktur. Snell Kanunu için açı belirlenemez. Difraksiyon (saçılma) olur.

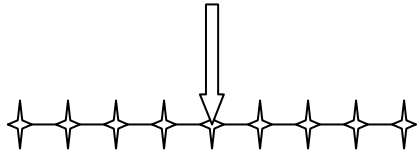
$$t_d = \frac{1}{V} \left[h + (x^2 + h^2)^{1/2} \right] \cong \frac{2h}{V} + \frac{x^2}{2Vh} = t_0 + 2\Delta t_n$$

Δt değeri NMO nun iki katına çıkar.

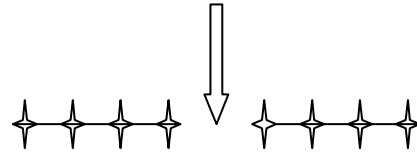


3.4. KATLAMALI SİSMİK

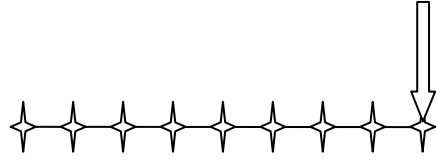
Sismik prospeksiyonda yeraltı yapısını belirlemek için iyi veri almak zorunludur. Bu, hem arazide gürültüsüz ve kaliteli veri almayı, hem de bilgisayar merkezinde iyi bir proses işleminden geçmeyi kapsar. Arazide verinin kalitesi ise; yansıma yüzeylerini iyi kaydetmemize, yani yansıma yüzeylerinden gelen enerjinin seviyesine bağlıdır. O halde bu enerji seviyesi düşük olduğu zaman onu kuvvetlendirme yollarını aramamız gerekir. Bunlardan biri de katlamalı sismiktir. Katlamalı sismiği görmeden önce sismik atışta kullanılan jeofon kabloso dizgi türlerini görelim.



İki taraflı ofsetsiz atış.



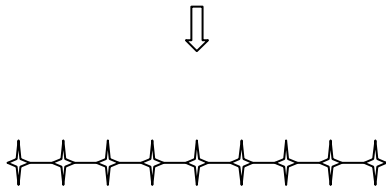
İki taraflı ofsetli atış.



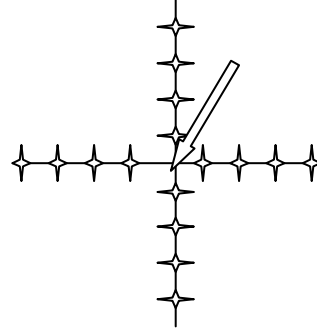
Tek taraflı ofsetsiz atış.



Tek taraflı ofsetli atış.

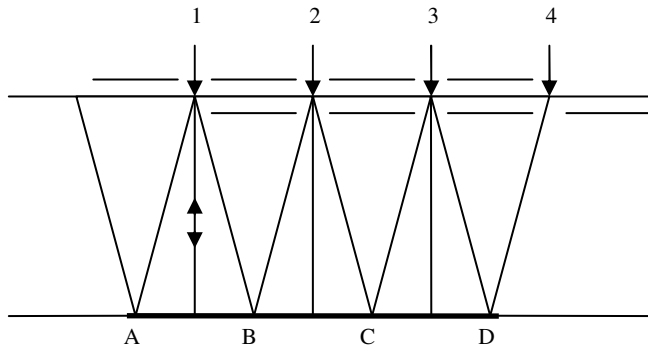


Yanal ofset.



Kros atış.

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi yeraltındaki yansıma yüzeyini bir defa taramak için yeryüzünü iki defa taramak gerekir.

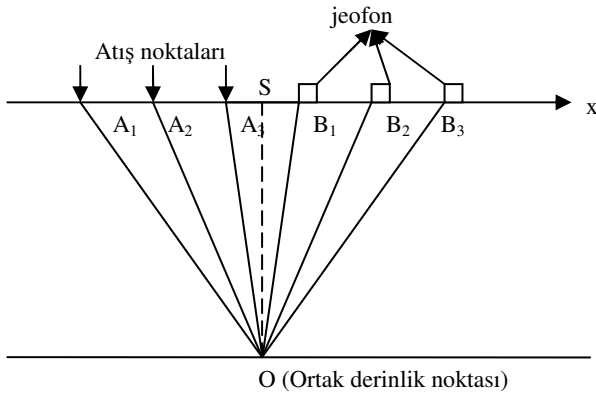


1 nolu atış A-B arasını tarıyor; 2 nolu atış B-C arasını tarıyor; 3 nolu atış ise C-D arasını tarıyor.

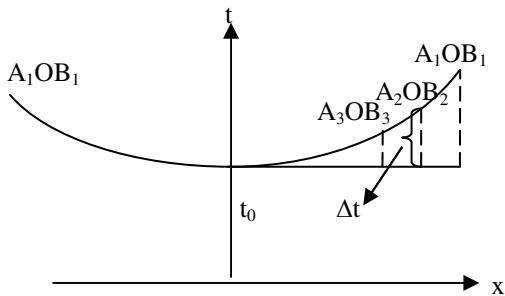
Görüldüğü gibi 1, 2, 3, 4 noktalarından yapılan iki taraflı atışlarla, profil hattı boyunca yeryüzü iki defa taranmaktadır. Bu prensipten hareket ederek yeraltındaki arayüzeyi birden fazla tarayarak şekilde atış düzenlemeleri gerçekleştirilebilir. Bu sismikte bize ne gibi bir avantaj sağlar? Eğer arayüzeyden yansıyor gelen ve alıcının kaydettiği sinyal zayıf ise bunu kuvvetlendirme yollarını aramalıyız. Yer altındaki bir noktadan birden fazla sinyal alıp bunları toplarsak daha güçlü bir sinyal dolayısıyla, daha kaliteli bir veri elde etmiş oluruz. Ancak bunun için başlıca iki güçlük karşılarız.

1. Aynı yeraltı noktasından gelen sinyalleri belirlememiz gerekir.
2. Toplama ve sinyal güçlendirme için veriyi aynı zaman değerine indirgememiz gerekir.

Aşağıdaki şekil, değişik atış noktalarından değişik jeofonlara aynı yeraltı noktasından nasıl sinyal alınabileceği hakkında bir fikir vermektedir. O halde ortak derinlik noktası(Common depth point=C.D.P.)na katkı sağlayan atış noktası ve jeofon ailesini belirlemeliyiz.

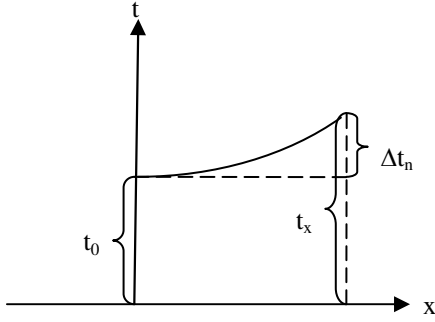


Diğer güçlük A_1OB_1 ; A_2OB_2 ; A_3OB_3 yolları eşit değildir. Bunları toplamak için eşit hale getirmeliyiz. Bu yollara ait t-x grafiği, bilindiği gibi, bir hiperbol eğrisidir. Eğri üzerinde her noktaya Δt düzeltmesi yaparsak hiperbol bir doğru haline gelir ve yatay bir yansıma yüzeyi için bütün t değerleri t_0 a eşit olur. buna yığılma (stack) işlemi denir.

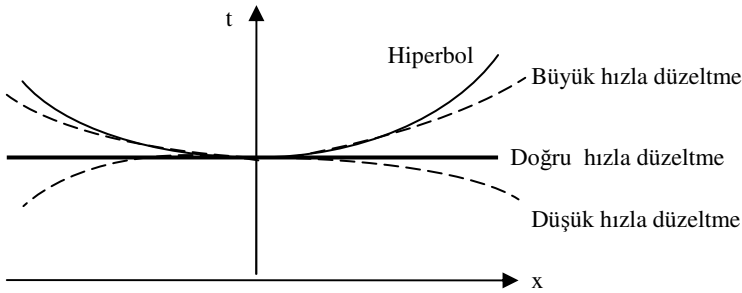


Dinamik Düzeltme (Δt Düzeltme İşlemi)

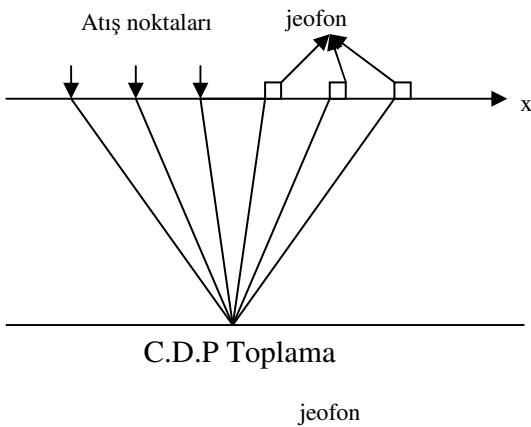
Tabaka yatay veya x açılımı (ofset) çok küçük olduğu zaman $t_x^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{V^2}$ formülünün seriye açılımından $t_x \cong t_0 + \Delta t_n = t_0 + \frac{x^2}{2V^2 t_0}$ olduğunu bulmuştuk. $\Delta t_n = \frac{x^2}{2V^2 t_0}$ değerine N.M.O. dendiğini biliyoruz.

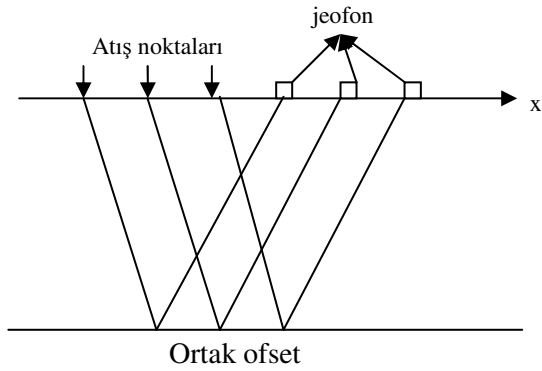
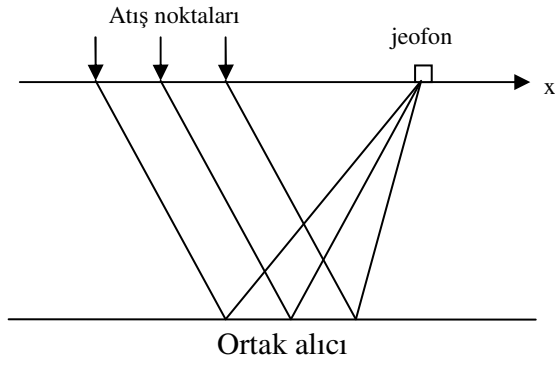
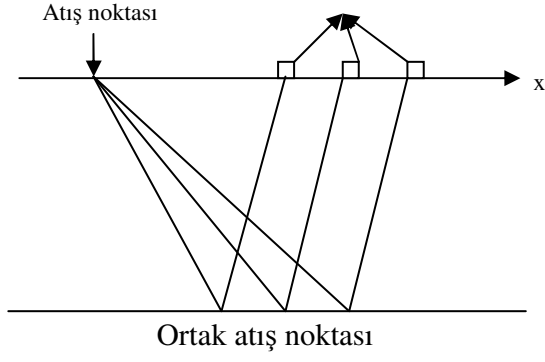


t_x değerini bu Δt_n kadar düzeltirsek hiperbolü doğru haline getirmiş oluruz. Ancak Δt_n ni hesaplarken doğru V hızı kullanmazsak hiperbol tam düzelmez.



Bu gördüğümüz C.D.P. (ortak derinlik noktası) toplaması idi. Genel olarak diğer toplama çeşitleri ile birlikte 4 tür toplama yapılabilir.





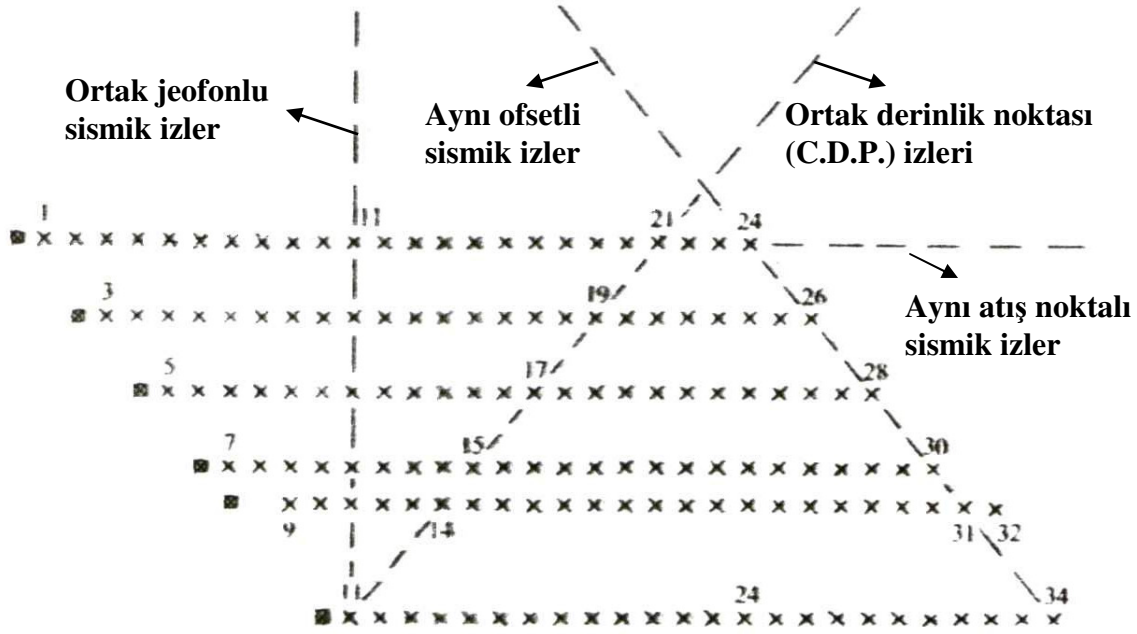
Bir sismik hat üzerinde toplama gruplarının ne şekilde oluşturulduğu aşağıda gösterilmiştir.

Bu sismik hat üzerinde;

1 2 3 4 5 ... : İstasyon numaralarını göstermektedir.

O: Atış noktasıdır.

x x x : Jeofonları göstermektedir.



24 jeofonluk bir kablo, sismik hat üzerinde, her atış noktasında bir istasyon aralığı kadar kaydırılarak atış tekrarlanmaktadır. Bir jeofon noktasında yapılan kayıt **sismik iz** olarak adlandırılır. Buna göre dört tür toplamaya konu olan sismik izlerle ilgili bir örnek yukarıda görülmektedir. Bu örnekte atış noktalarına da jeofon yerleştirilmiştir. Şekilde çizgi ile gösterdiğimiz C.D.P. ye giren izlerin tablosunu çıkaralım. Parantez içindeki birinci rakam atış noktası, ikinci rakam jeofon ise:

(1,16)
 (2,15)
 (3,14)
 (4,13)
 (5,12)
 (6,11)

izleri toplanır ve atış noktaları ile jeofonların orta noktası olan 8.5 no lu istasyona yerleştirilir.

Yukardaki atış düzen tablosu bilgisayara verildiğinde C.D.P. programı, yukardaki örnekte olduğu gibi C.D.P gruplarını ayırır. Her ize karşılık gelen NMO düzeltmesini yapar. Sonra bu izleri toplar ve C.D.P. noktasına karşı gelen istasyon noktasına yerleştirir. Bu suretle katlamalı bir sismik kesit elde edilmiş olur. Yukardaki örnekte 6 katlamalı kısmını çizdik.

Atış tablosu tam olarak gerçekleştirildiğinde katlama sayısı aşağıdaki formülle bulunur.

$$\text{Katlama sayısı (fold)} = \frac{1}{2} \text{jeofon sayısı} \cdot (\text{jeofon aralığı} / \text{atış noktası aralığı})$$

Formülü yukardaki örneğimize uygularsak;

$$\text{Katlama sayısı} = \frac{1}{2} \cdot 24 \cdot (x \text{ metre} / x \text{ metre}) = 12 \text{ bulunur.}$$

Gerçekte de atış tablosunu tamamlarsak iz katlama gözükür. Atışın başlangıç ve sonunda katlama sayısı eksiktir. Artarak normal katlama sayısına ulaşır.