

KÜRESEL AÇILMANIN SİSMİK GENLİKLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ VE AÇILMA ETMENİNİN HESAPLANMASI

Spherical Divergence Effect on Seismic Amplitudes and Divergence Factor Calculation

CENGİZ KURTULUŞ(*)

ÖZET

Sismik dalgaların genliklerini etkileyen önerli etmenlerden biri olan küresel açılma etkisi, sismik dalga genliklerinin düzensizlik gösterdiği verilerin yorumlarını olumsuz yönde etkiler. Böyle durumlarda, uygulamada, dalga genliklerinin dengelenerek verinin yorumunun güvenilirliğinin artırılması, veriye yatay tabakalı, tekdüze ve yönbağımsız bir ortam için hesaplanan bir küresel açılma etmeninin uygulanmasıyla sağlanır.

Bir nokta kaynaktan yayılan bir dalganın yüzeyi göz önüne alınırsa, normal kayma zamanı (NKZ) ile küresel açılma etmeni arasında yakın bir ilişki olduğu görülür. Dalga kaynaktan dışarı doğru yayılırken (NKZ artarken) enerji yoğunluğu ve şiddeti, kaynaktan olan uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalır.

Hızları farklı asıl yansımalar ile büyük periyotlu ardışık yansımaların bir alıcıya aynı anda varması durumunda bunların her ikisi için uygun bir genlik düzeltmesi yapmak olanaksızdır. Yatay tabakalı bir yer taslağına uygun bir genlik düzeltmesi kuvvetli eğim gösteren yapılar için yüksek genliklere neden olur.

Kısa kaynak-alıcı açılımı kullanarak yatay tabakalı bir yapı için bulunan bir küresel açılma etmeni $t\bar{V}_{\text{kök}}$ ile orantılıdır.

Burada t gidiş-geliş zamanı ve $\bar{V}_{\text{kök}}$ ise kök (rms) hızını göstermektedir.

ABSTRACT

The spherical divergence effect, which is the one of the important factors affecting the seismic amplitudes, influences the seismic data representing the irregularities of the trace amplitudes in the negative side. In such conditions, in practice, the irregularities of the trace amplitudes are compensated and the precision of the data interpretation is increased by applying the divergence factor computed for an isotropic, flat-layered and homogeneous earth model to the data.

If a wavefront diverging from a source is considered, there is a close relationship between the normal moveout (NMO) and the spherical divergence effect. As the wavefront diverging outward from the source (NMO increases), its energy density and intensity decrease inversely as the square of the distance from the source.

If the primary reflections and the multiple reflections with large periods of different velocities arrive at a receiver at the same time, it is not possible to make an appropriate compensation for both of these waves. An amplitude compensation done for the flat-layered earth model causes high amplitudes for the very deep-seated structures. The spherical divergence factor computed using a short offset distance for a flat-layered structure is proportional to $tV_{\text{kök}}$. Here, t is the two-way travel time and $V_{\text{kök}}$ is the rms velocity.

GİRİŞ

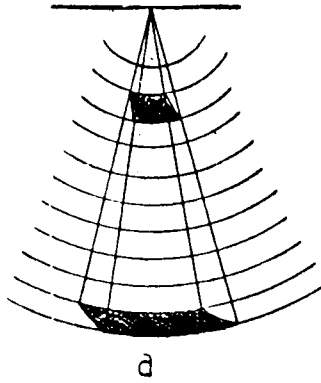
Sismik yansıma kayıtları üzerinde görülen yansımış dalgaların genliklerini etkileyen birçok etmenler bulunmaktadır. Bunlar kabaca kırınma, saçılma, ardışık yansımalar, söğürme, küresel açılma ve benzeri etmenler olarak sayılabilir. Bu yazıda bunlardan sadece küresel açılmanın genlikler üzerindeki etkileri yatay, tekdüze ve yönbağımsız tabakalı bir yer taslağı için incelenmiştir. Bir nokta kaynaktan yayılan

bir dalga için genlik sönümü gösterilerek küresel açılma etmeni bulunmuştur.

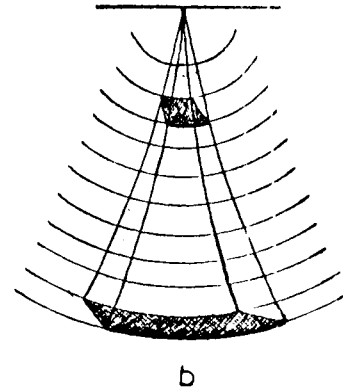
Enerjinin korunum yasası bir nokta kaynaktan çıkan küresel dalgalar için enerji şiddetinin dalganın yarıçapının karesi ile ters orantılı olarak azalacağını söylemekteyse de (Şekil 1 a), yerin tekdüze olmaması ve sismik hızın derinlikle artmasından dolayı dalga yüzeylerinin küresel olmayışla-

(*) MTA Genel Müdürlüğü, Jeofizik Dairesi, Ankara.

rı nedeniyle, genlikteki azalma Şekil-1b de gösterildiği gibi kırılma ile ilgili ek etkenlerin altındadır.



Şekil 1. a) Tekdüze bir ortamda dalga yayılımı.



b) Küresel açılma etkisi.

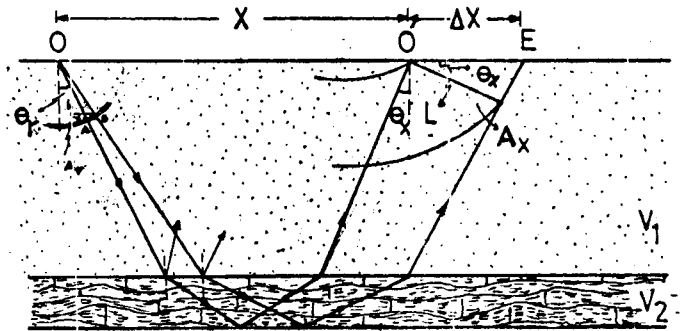
Şekilde bir nokta kaynaktan çıkan küresel bir dalga cephesi üzerinde küçük bir bölge boyunca akan bir enerjinin daha sonra geniş bir alana yayılması gösterilmektedir. Eğer dalganın bu yayılımı enerji kaybı olmaksızın yaptığı varsayılırsa, o zaman bölge alanlarının oranından akustik şiddet üzerindeki küresel açılım etkisi elde edilebilir. Bu yaklaşımla dalganın genlikleri üzerindeki küresel açılım etkisi, yansıma zamanının bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Küresel açılma, etkisi hiçbir jeolojik bilgi taşımadığından dolayı giderilmesi yani dengelenmesi gerekir. Küresel açılma etkisini elde etme yöntemi akustik ışın kuramına benzer ve Gutenberg (1936)'in yöntemini izler. Bu konuda birçok çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan O'Brien ve Lucas (1971) bir kuyu jeofonuna ilk gelişler için genlik düzeltmeleri yapmak amacıyla bir küresel açılım etmeni elde etmiş ve tek-yol zamanı göz önüne almıştır. Mack (1966) ise düşey kaynak altında kuyu jeofonuna varan dalgaların genliklerindeki sönmeye neden olan kırılma etkisini incelemiştir. Doherty ve Anstey (1971)'de yansıma dalgalarının genliklerini etkileyen unsurları irdelenmiştir. Tabakalı bir ortamda açılma veya uzaklaşma etkileri Newman (1973) de vermiştir. Bu çalışmada küresel açılma etkisi tartışılmış ve bir saha verisi örneği sunulmuştur.

KÜRESEL AÇILMA ETMENİ

Yönbağımsız ve tekdüze bir ortamda bir nokta kaynaktan çıkan dalgaların dalga cephesi küreseldir. Bu dalgaların genlikleri dalga yüzeylerinin yarıçapları ile ters orantılı olarak azalır. Ancak yer içi yönbağımsız ve tekdüze bir ortam değildir. Derinliğin fonksiyonu olarak ortaya çıkan hız farklılıklarından dolayı, ara yüzeylerdeki kırılmalar nedeniyle dalga cephesi küresel değildir. Küresel açılımın neden olduğu genlik azalımı bir geometrik etkidir. Bir kaynaktan çıkan dalga ışınlarının yolunu Snell yasasına göre bularak tabakalı bir ortamda kırılma etkileri gösterilebilir (Şekil-2).

Atış kaynağından belirli bir uzaklıktaki sapma etkisini hesaplamak için Gutenberg (1936) yöntemi kullanılabilir. Şekil 2'de gösterilen yatay tabakalı bir ortam alınsın. O noktasındaki bir nokta kaynaktan çıkan dalgalar her tarafa yayılmaktadır. Tabakaların özelliklerinin yanal olarak de-

ğişmediği varsayılmaktadır. Düşey doğrultuda hiçbir varsayım yapılmamıştır. Hızlar dereceli olarak aniden artıp ek-silebilmektedir. O noktasındaki kaynaktan çıkan OA ve OB



Şekil 2. Küresel açılma etmenini bulmak için ışın geometrisi.

ışınlarının en derin taban arayüzeyinde yansıyan ışınlar göz önüne alınsın. Bu ışınlar tabandan yansıdıktan sonra birbirlerinden X kadar uzaklıkta yer yüzüne varırlar. O noktasının çevresindeki çok küçük r yarıçaplı kürenin yüzeyi A_T üzerinden geçen enerji yansımadan sonra A_X alanından geçecektir. Bu iki alandan geçen akustik şiddetlerin oranı bu alanların oranının tersine eşittir. A_T ve A_X alanlarından geçen akustik şiddetler sırasıyla I_T ve I_X ise aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$\frac{I_X}{I_T} = \frac{A_T}{A_X} \quad (1)$$

Burada A_T alanı

$$A_T = 2\pi rh \quad (2)$$

dır.

$$\sin \theta_r = \frac{h}{AB},$$

$$h = \sin \theta_r AB.$$

ve

$$AB = rd\theta_r$$

değerlerinin (2) bağıntısında yerlerine yazılmasıyla

$$A_r = 2\pi r^2 d\theta_r \sin \theta \quad (3)$$

elde edilir. Benzer olarak A_x alanı

$$A_x = 2\pi r L \quad (4)$$

yazılır.

$$\cos \theta_x = \frac{L}{\Delta X}, \quad L = \Delta X \cos \theta_x$$

değerleri (4) de yerine konarak,

$$A_x = 2\pi X \Delta X \cos \theta_x \quad (5)$$

bulunur. A_r ve A_x değerlerini (1) de yerlerine koyup gerekli kısaltmalar yapılırsa.

$$\frac{I_x}{I_r} = \frac{r^2 \sin \theta_r}{X \cos \theta_x} \cdot \frac{d\theta_r}{\Delta x} \quad (6)$$

bağıntısı elde edilir. Kürenin yarıçapını birim uzunluk yani $r = 1$ alınıp, kaynak ve alıcı yatay düzlemde ve ilk tabaka içinde varsayılırsa

$$\theta_r = \theta_x = \theta_1 \quad (7)$$

yazılabilir. Limit durumunda X sifıra gideceğinden aşağıdaki bağıntı yazılabilir:

$$\frac{I_x}{I_r} = \frac{\sin \theta_1}{x \cos \theta_1} \cdot \frac{d\theta_1}{dx} = \frac{\tan \theta_1}{x} \cdot \frac{d\theta_1}{dx} \quad (8)$$

Eğer dalganın içinde yayıldığı ortamın yönbağımsız olduğu varsayılırsa atıştan sonra oluşacak dalgaların genliklerinin oranı, şiddetlerinin oranının kareköküne eşit olur. Küresel açılma etmeni genlik oranlarının karekökü olarak tanımlanır. Böylece küresel açılma etmeni,

$$J_{x,\theta} = \left[\frac{X}{\tan \theta_1} \cdot \frac{dX}{d\theta_1} \right]^{1/2} \quad (9)$$

olarak elde edilir. Bu bağıntı limit durumundan kurtarılıp daha genel bir durum için geliştirilebilir.

Hızın derinlikle arttığı bir ortamda bir ışının vardığı konumun kaynaktan olan X uzaklığı izleyen bağıntıyla verilir (Officer, 1974)

$$X = \int_0^z \frac{dz}{(n^2 - p^2)^{1/2}} \quad (10)$$

Burada p ışın çeyiştirgeni olup Snell yasası ile belirlenir ve bir ışın izi için değişmez:

$$p = \frac{\sin \theta_1}{V_1} \quad (11)$$

n ise

$$n = \frac{1}{V(z)} \quad (12)$$

dir. (11) ve (12) bağıntıları (10) da yerine konarak,

$$X = 2 \int_0^z \frac{pV(z)dz}{[1 - p^2 V(z)^2]^{1/2}} \quad (13)$$

elde edilir. Bunun p'ye göre türevi alınırsa,

$$\frac{dx}{dp} = 2 \int_0^z \frac{V(z) dz}{\{1 - [pV(z)]^2\}^{3/2}}$$

ve (11) bağıntısının θ_1 e göre türevi alınırsa

$$\frac{dp}{d\theta_1} = \frac{\cos \theta_1}{V_1}, \quad dp = \frac{\cos \theta_1}{V_1} d\theta_1 \quad (15)$$

(15), (14) de yerine konulursa,

$$\frac{dX}{\cos \theta_1 d\theta_1} = 2 \int_0^z \frac{V(z)dz}{\{1 - [pV(z)]^2\}^{3/2}}$$

$$\frac{dX}{d\theta} = \frac{2 \cos \theta_1}{V_1} \int_0^z \frac{V(z)dz}{\{1 - [pV(z)]^2\}^{3/2}} \quad (16)$$

elde edilir. (16) bağıntısını (9) da yerine yazarsak,

$$J_{x,\theta} = \left[\frac{2X \cos \theta_1}{V_1 \tan \theta_1} \int_0^z \frac{V(z)dz}{\{1 - [pV(z)]^2\}^{3/2}} \right]^{1/2} \quad (17)$$

bulunur. Bu sadece bir tabakalı ortam için küresel açılma etmenidir. Şimdi kalınlıkları d_i ve ara hızları V_i , ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) olan bir ortam için (17) bağıntısı genelleştirilerek izleyen biçimde yazılabilir:

$$J_{x,\theta} = \left[\frac{2X \cos \theta_1}{V_1 \tan \theta_1} \sum_{i=1}^n \frac{V_i d_i}{\{1 - [pV_i]^2\}^{3/2}} \right]^{1/2} \quad (18)$$

$$\frac{pV_i}{\cos \theta} = \tan \theta_i \quad \text{ve} \quad \cos \theta = (1 - p^2 V^2)^{1/2} \quad (19)$$

varsayımı yapıldığında (Officer, 1974), (18) bağıntısı

$$\frac{pV_i}{\cos \theta} = \tan \theta_i \quad \text{ve} \quad \cos \theta = (1 - p^2 V^2)^{1/2} \quad (19)$$

varsayımı yapıldığında (Officer, 1974), (18) bağıntısı

$$J_{x,\theta} = \left[\frac{2X \cos \theta_1}{V_1 \tan \theta_1} \sum_{i=1}^n \frac{V_i d_i}{\cos^3 \theta_i} \right]^{1/2} \quad (20)$$

olur. Burada

$$\tan \theta_i = \frac{pV_i}{\cos \theta_i} \quad \text{ve} \quad \frac{V_i}{\cos \theta_i} = \frac{\tan \theta_i}{p} \quad (21)$$

dir.

(21) bağıntısını (20) de kullanarak

$$J_{x,\theta} = \left[\frac{2X \cos \theta_1}{V_1 \tan \theta_1} \sum_{i=1}^n \frac{\tan \theta_i d_i}{p \cos^2 \theta_i} \right]^{1/2} \quad (22)$$

elde edilir. İşleme devam edilerek

$$J_{x,\theta} = \left[\frac{2 \cos \theta_1}{V_1 \tan \theta_1} \sum_{i=1}^n \frac{\sin \theta_i d_i}{p \cos^3 \theta_i} \right]^{1/2}$$

$$= \left[\frac{2X \cos^2 \theta_1}{V_1 \sin \theta_1} \sum_{i=1}^n \frac{\sin \theta_i d_i}{p \cos^3 \theta_i} \right]^{1/2}$$

elde edilir. Pay ve paydayı $\sin \theta_1$ ile çarparak ve gerekli kısaltmaları yaparak

$$J_{X,\theta} = \left[-\frac{2X \sin \theta_1}{V_1 \tan^2 \theta_1} \sum_{i=1}^n \frac{\sin \theta_i d_i}{p \cos^3 \theta_i} \right]^{1/2} \quad (23)$$

bulunur. (11) deki p değeri (23) de yerine konup kısaltmalar yapılırsa,

$$J_{X,\theta} = \left[-\frac{2X}{\tan^2 \theta_1} \sum_{i=1}^n \frac{\sin \theta_i d_i}{\cos^3 \theta_i} \right]^{1/2} \quad (24)$$

bağıntısı elde edilir. Böylece n . tabakadan gelen yansımalar için küresel açılma etmeni bulunmuş olur.

Eğer açılım uzaklığı sıfıra düşerse normal geliş için uygulanan açılma etmeni elde edilir. Bu durumda $\cos \theta$ sıfıra yaklaşırken p de sıfıra yaklaşır. (13) bağıntısına (19) dak

$$\cos \theta = (1 - p^2 V^2)^{1/2} \quad (25)$$

bağıntısı konup, değinilen yaklaşımlar göz önüne alınır

$$X = 2 \sum_{i=1}^n V_i d_i \quad (26)$$

bağıntısı bulunur. (16) bağıntısında değinilen varsayımlar uygulanırsa

$$\frac{dX}{d\theta_1} = \frac{2}{V_1} \sum_{i=1}^n V_i d_i \quad (27)$$

elde edilir. (21) bağıntısında $i = 1$ için söz konusu varsayımlar uygulanırsa

$$V_1 = \tan \theta_1 \quad (28)$$

elde edilir. (26), (27) ve (28) bağıntıları (9) bağıntısında yerlerine konur ve kısaltmalar yapılırsa dik geliş için küresel açılma etmeni

$$J_0 = \frac{2 \sum_{i=1}^n V_i d_i}{V_1} \quad (29)$$

elde edilir. Burada d_i , tabakalı bir ortam için zaman cinsinden şöyle yazılır:

$$2d_i = V_i t_i \quad (30)$$

Burada t_i , i . tabakaya olan gidiş geliş zamanıdır. (30), (29), da yazılarak

$$J_0 = \frac{2 \sum_{i=1}^n V_i^2 t_i}{V_1} \quad (31)$$

elde edilir. Küresel açılmayı kök hızı cinsinden bulmak için kök hız bağıntısı (Dobrin, 1976),

$$V_{\text{kök}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n V_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (32)$$

den elde edilen,

$$V_{\text{kök}}^2 \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n V_i^2 t_i \quad (33)$$

yi (31) de yerine koyarak,

$$J_0 = \frac{V_{\text{kök}}^2 \sum_{i=1}^n t_i}{V_1} \quad (34)$$

elde edilir.

Küresel açılma etmeninin sismik izlere uygulanmasıyla izlerin genlikleri küresel açılmanın etkisinden kurtarılarak dengelenir. (31) bağıntısından görüldüğü gibi, yansıma genlikleri üzerindeki küresel açılma etmeni, yansımalara bağlı $tV_{\text{kök}}$ çarpanlarının oranları ile elde edilir.

Şekil-3a'da Trakya Bölgesinden algılanan bir saha atışı verilmiştir. Bu veri hiç bir işlemten geçirilmeden çizdirilmiştir. Görüldüğü gibi, derinlere gidildikçe göreceli olarak enerji azalmaktadır. Bu veriye bir hazır programla küresel açılma düzeltmesi uygulandığında Şekil-3b'deki sonuca ulaşılmıştır. Ham veriye göre göreceli olarak derinlerdeki enerji düzeyi yükselmiştir. Ancak bu artış derinlerdeki ola-sı yansımaları izleyebilmek için yeterli değildir.

Dalga genliğini etkileyen soğurma, yinelenmeli yansımalar gibi başka önemli etmenler de vardır. Bu ve benzeri etmenlerin de karşılanması gerekir. Değinilen ve diğer etmenleri karşılamak karmaşık yer için zor, daha doğrusu günümüzde olanaksızdır. Bunları bir ölçüde karşılamak için veri üst üste binen pencerelere ayrılarak bu pencerelerde enerji dengelemesi yapılır. Böyle bir kazançlandırmadan sonra bütün sismik kesit, bütün zamanlarda enerji bakımından dengelenmiş olur. Bunun için uygulamada önerilen birçok yaklaşım vardır. Böyle bir işlemin Şekil 3b'deki veriye uygulamasından sonra elde edilen görmeye alıştığımız sismik veri Şekil 3c'de sunulmuştur.

SONUÇLAR

Küresel açılma hiçbir jeolojik bilgi taşımadığından, eğer etkisi sismik yansıma kayıtları üzerinde yapılan yorumu güçleştirecek bir seviyede ise, giderilmesi gerekir. Bununla beraber, eğer asıl ve ardışık yansımalar farklı kök hızlarındaysalar bunları aynı anda düzeltmek olanak dışı olmakta ve genel olarak küresel açılma, asıl yansıma genliklerini ardışık yansıma genliklerinden daha fazla azaltıcı bir etki yapmaktadır. Yatay tabakalanmış durumu için hesaplanmış bir küresel açılma etmeni kuvvetli eğim gösteren tabakalar için genellikle yüksek genliklere neden olur. Yatay tabakalanma durumunda ve kaynaktan kısa açılımlar seçilerek kaydedilmiş izler için düzeltme etmeni $tV_{\text{kök}}^2$ ile orantılıdır.

DEĞİNİMLER

Eleştireleri, katkıları ve saha verisi örneğinin sağlanmasındaki çabaları için Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEMİR ve saha verisini işleyerek hazırlayan Hakan ŞAHİN (TPAO) sağolsunlar. Veri TPAO çalışmalarından seçilmiştir.

KAYNAKLAR

- Dobrin, Milton B., 1976, Introduction to Geophysical Prospecting; McGraw-Hill Inc., New York.
- Doherty, R.F. and Anstey, N.D., 1971, Reflections on amplitude: Geophysical Prospecting 19, 430-458.
- Gutenberg, B., 1936, The Amplitude of waves to be expected in seismic prospecting: Geophysics 1, 252-256.
- Mack, H., 1966, Attenuation of controlled wave seismograph signals observed in cased boreholes: Geophysics 31, 243-252.
- Newman, P., 1973, Divergence effects in a layered earth: Geophysics 38, 481-483.
- O'Brien, P.N.S., and Lucas, A.L., 1971, Velocity dispersion of seismic waves: Geophysical Prospecting 19: 1-26.
- Officer, O.B., 1974, Introduction to Theoretical Geophysics; Springer-Verlag Inc., New York.

Şekil 3. Trakya Bölgesinde bir saha atışına küresel açılma ve dengeleme işlemlerinin uygulanışı.

a) Saha verisi, b) (a)'daki atışa küresel açılma düzeltmesi uygulandıktan sonra ve c) (b) deki veriye dengeleme işlemi uygulandıktan sonra (TPAO Veri İşlem Merkezi).

