

SİSMİK REFRAKSİYON ARAŞTIRMALARINDA FREKANS ve  
AMPLİTÜT İZLERİNİN KULLANILMASI (x)

Yazarı :  
Hans PALM (xx)

Çeviri:  
Nevzat BÜYÜKKÜSE (xxx)  
Rüçhan YILMAZ (xxx)

ÖZET :

Bu yazıda, iki araştırma ile tabakalardaki sönümler konusunda kayıtlardaki ön dalgaların frekans ve amplitütleri ölçülerek yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Teori ve işlemler anlatılmıştır. Her iki araştırmadan da aynı sonuçlar elde edilmiştir.

- Artık amplitüt ve frekans diyagramları, yol-zaman grafiklerinde hız tabakalarının sayısının belirlenmesinde önemli derecede yardımcı olur.

- Tabakaların gerçek sönümleri çok hassas olarak belirlenemez.

Amplitüt ve frekans diyagramlarındaki kırılmalar genellikle yol-zaman grafiklerindeki daha belirgindir. Bu konuda etkili olabilecek tüm faktörler tartışılmıştır. Artık sönümlerin bulunmasındaki doğruluk derecesi stratigrafik yapıyla ilgilidir. Sağlıklı sönüm hesabı için gereken koşul ve öneriler ekte verilmiştir.

Jeofizik araştırmalarda modellerin jeolojik kesitlere dönüştürülmesi güç fakat istenilen bir adımdır. Çoğu zaman arazide sadece bir jeofizik yöntem uygulanarak bulunan tabaka kalınlık ve konumlarına göre saha modelleri oluşturulur ve parametreler hesaplanır. Parametrelerin sayısal değerleri genellikle birden fazla jeolojik birimi karakterize ettiğinden yorum yapılırken jeolojik bulgularda gözönüne alınır. Yinede en iyi kabullerde bile hata olabilir. Sismik refraksiyon çalışmalarında değerlendirmeler P dalgası hızlarına göre yapıldığı zaman, bu güçlükler sık-sık ortaya çıkabilir. Gevşek malzemeli jeolojik birimler geniş bir hız aralığına sahip olduğundan değişik köken ve bileşimdeki birimlerin hızları ile üst-üste gelebilir. Bu belirsizliklerin çözümlenmelerinin bir yolu ya diğer jeofizik yöntemleri de uygulamak yada mekanik sondajlar yapmaktır. Diğer bir yaklaşım ise sismik kayıtlardan daha fazla parametre üretilmesidir. Kayıtların bazılarında S dalgası varışları belirgindir. Her iki dalga hızının da kullanılmasıyla jeolojik değerlendirme gerçeğe daha yakın olur. Tabakalanmanın homojen ve arazi düzeninin yeterli kesme kuvveti oluşturduğu yerlerde S dal-

- (x) Striolac 1981: 2 Uppsala, Sweden  
(xx) Department of Quaternary Geology, University of Uppsala, Sweden  
(xxx) Teknik Araştırma ve Uygulama Genel Müdürlüğü,  
Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı

gası hızlarının bulunmasında daha başarılı olunur (Median 1967, Geyer ve Martner 1969, Magnussan 1976).

P dalgaları varış zamanlarından başka amplitüt ve frekanslarına görede değerlendirilirler. Amplitüt ve frekansın mesafe ile değişimlerinin analizleri çeşitli tabakalardaki sönüm derecelerinin belirlenmesine yardımcı olurki buda jeolojik değerlendirmeye katkı sağlar. Amplitüt ve frekans analizi ile ilgili olan bu yayın aşağıdaki üç raporun da bir özetidir.

1- Undersökning av amplitudmatningars anvadbarhet vid seismiska refraktionsmatningars över lösa jordlager (Gevşek malzemeli zeminlerde sismik refraksiyon çalışmasıyla amplitüt kullanımının araştırılması) (Qufo: 1.1980).

2- Kuzey İrlanda Markarfljat Sandur sahasında sismik araştırma (Striolac, 1980: 2).

3- Amplitüt-frekans ve yol-zaman grafiklerini kullanarak sismik refraksiyon verilerinin değerlendirilmesi (Striolac, 1981: 1).

Bu raporların birinci ve üçüncüsünde mesafe-amplitüt ve frekans diyagramları tartışılmaktadır. Değerlendirmenin sadece yol-zaman analizine göre yapıldığı ikinci rapor ise bir referanstır.

Bu raporlardaki konuları şöyle sıralayabiliriz,

- Refraksiyon araştırmalarında, sismogramlardaki ilk pikten dalgaların amplitüt ve frekanslarının kolay ve hassas olarak elde edilmesi.

- Geometrik yayılımının oluşturduğu artık amplitüt ile frekansın mesafeye göre hazırlanmış diyagramlarının her bölümünün bir yansıtıcı tabakaya karşı geldiği bölgelere ayrılması.

- Bölgeler içindeki artık amplitütlerin sismik tabakalar içindeki sönümlerin bulunması.

- Artık sönümün sismik tabakaların jeolojik değerlendirilmesinde kullanılması.

İlk hedef arazi verilerinin analizinden sonra, çeşitli zeminlerin sönüm derecelerini tanımlayan özelliklere ve elastik enerjinin sönümünde hakim fiziksel mekanizmaya girmeden önce bu sorulara cevap vermektir. Bu nedenle bir sonraki bölüm elde edilen verilere uygulanan işlemleri anlamak için gerekli teorik bilgileri kapsayacaktır. Son bölümde ise bazı sonuçların özelliklerinin açıklanmasıyla ilgili olarak teorik ayrıntılar tartışılacaktır.

TEORİ :

Ölçülen Değerlerin Önemi :

Kaydedilen sismogramlar çok sayıda çeşitli frekanslarda dalgalardan ibarettir (Şekil-1). Bu dalgalar her devre (cycle) içinde belirli bir oranda enerji azalımından dolayı mesafe ile sönerler. Yüksek frekanslı dalgalar düşük frekanslılara göre daha hızlı sönerler.

Bu araştırmalarda amplitüt ve frekanslar ilk piklerden ölçül-

müştür (Şekil-2). Ölçülen değerler mevcut frekansların karmaşık toplamlarıdır ve frekans spektrumunun yükseklik ve genişlikleri ile mutlak amplitütlere bağlıdır. Böylece frekans domeninde tam bir analiz mümkün olurki buda sismogramların fourier transformasyonlarından sonra olabilir. Ancak bu tip işlemler konusu refraksiyon araştırmalarında kullanılan kolay yöntemleri uygulamak olan bu araştırmayı amacından uzaklaştırır.

Sismogramlardan doğrudan ölçülen amplitütler, spektrumun pik amplitütü ile orantılı ve ölçülen frekanslar ise piklerin frekansları ile ilgilidir. Ayrıca pekçok araştırmada değişik zeminlerin sönüm derecelerini elde etmek için amplitüt izlerinin kullanıldığı görülür. (O'Brien 1960, Palmason 1970, O'Brien ve Lucas 1971)

P dalgalarının dispersiyona (yani yüksek frekansın düşük frekanstan daha hızlı hareket etmesi) uğraması henüz ispat edilememiştir (O'Brien ve Lucas 1971, Hamilton 1972). Çalışmamızda dispersiyon olayı gözlenirse bile sığ refraksiyon araştırmalarında çok küçük olacağından dalga şeklinde bir bozukluk olmayacaktır.

Ön (baş) Dalgaların Sönümü :

Ölçülen amplitütler jeofon açılımının, aletsel büyütmenin ve kullanılan enerji büyüklüğünün fonksiyonu olup aşağıdaki gibi düzeltilmelidir.

$$A_r = A_t \cdot \sqrt{r \cdot L^3} \cdot \frac{100}{M} \cdot \left( \frac{Q_0}{Q} \right)^n$$

$A_r$  : Artık (Residüel) amp.

$A_t$  : Amplitüt izi

$r$  : Ölçü mesafesi

$L$  : Kırıcı (refraktör) tabakada dalganın aldığı yol

$M$  : Aletsel büyütme

$Q$  : Kullanılan enerji büyüklüğü

$Q_0$  : Referans enerji büyüklüğü

$n$  : Enerji uygulama katsayısı

Geometrik açılım faktörü  $\sqrt{r \cdot L^3}$  Helan (1953) ve Zvolinsky (1958) tarafından hesaplanmış olup sadece kırıcı tabakanın üst sınırını boyunca yol alan ön dalgalar için geçerlidir. Bu faktör kritik mesafeye ( $L \rightarrow 0$ ) yakın yerlerde geçerli değildir ve Donato ile O'Brien (1963) 'e görede şokun hakim dalga boyunun beş katından daha büyük  $L$  değerleri için uygulanabilir.

Uygulama katsayısı ( $n$ ), patlama derinliği ile enerji büyüklüğü ve uygulandığı yerdeki zeminin fonksiyonudur. Eğer jeofon açılımları bir profil boyunca üst üste gelirse belirli bir kayıt alanında, ( $n$ ) aşağıdaki formalden hesaplanabilir.

$$n = \frac{\log(A_1/A_2)}{\log(Q_1/Q_2)}$$

İndisler değişik enerjilerde iki patlamayı gösterir.

Artık amplitütler genellikle desibel olarak aşağıdaki formülle verilir.

$$A(\text{dB}) = 20 \cdot \text{Log } A_r/A_{r_0}$$

Referans amplitüt,  $A$  keyfi olarak seçilirse genelinde aynı değer alınır. dB/M'deki sönüm  $A(\text{dB})$ - mesafe diyagramından elde edilir.

Her devir (cycle) içinde belirli bir oranda sönüm olduğundan, sönüm dB/dalga boyunda verilmektedir. Hakim dalga boyu ( $\lambda$ ), hakim frekans ( $f$ ) ile hız ( $V$ ) arasındaki bağıntı yardımıyla bulunur.

$$V = \lambda \cdot f$$

Hakim frekans ön dalgaların ölçülen frekansların ortalamasından bulunur (Şekil-2). Bazen sönüm artık amplitütlerle ilgili olarak aşağıdaki formüldeki gibi sönüm katsayısı ( $q$ ) olarakta verilir.

$$A_r = A_{r_0} \cdot e^{-qr}$$

katsayısının dB/M cinsinden sönümle olan ilgisi ise şöyledir.

$$\frac{dA(\text{dB})}{dr} = -20 \cdot q \cdot \text{Log } e$$

Frekansın Uzaklıkla Değişimi :

Frekansa bağlı sönüm nedeniyle pik amplitütlerinin frekansları uzaklıkla azalış gösterir. Şekil-1 bu durumu açıklamaktadır. Sönümün yüksek olduğu bir materyalde hakim frekansın değişimi, düşük olanlardan daha büyüktür. Dolayısıyla ilk pikten ölçülen frekanslar sönümün uzaklıkla değiştiğinin bir göstergesidir.

Arazi Çalışmaları :

Duyarlıklı sönüm ölçmeleri için gereçler,

Frekans ve amplitüt ölçmeleri için refraksiyon cihazlarının çoğu kullanılabilir, ancak kayıt sistemi distorsiyondan sakınmak için geniş bantlı olmalı ve her bandın kazançları ayarlanabilmelidir. Jeofon frekansları hakim sinyal frekanslarının 1/3-1/2'sinden daha yüksek olmamalıdır (O'Brien 1967). Arazi çalışmaları alınmış refraksiyon araştırmalarındakinden biraz fazla gayretle başarılabilir. Ancak frekans ve amplitüt çalışılacağı zaman jeofon yerleri ve patlatmalar arasında yol-zaman analizi için gerekenden fazla hassasiyet sağlanmalıdır. Mümkün olursa aynı patlatmadan üretilen sinyaller için ölçmeler yapılmalıdır. Birbirinin kesin aynı olan uygulamalar tekrarlanamadığından birbirini takip eden patlatmalarda aynı amplitüt ve dalga formu elde edilemez. Değişmeler enerji büyüklüğünün azalması ile azalır hatta enerjileri aynı olan kapsüller bile birbirlerinin aynı olan pulsaları üretmezler. Kayıtların uzak ve yakın mesafelerde yapılması ve enerji için aynı patlatma noktasının kullanılması halinde jeofon açılımları 2-3 noktada üst üste bindirilmelidir. Bu durum uygulama katsayısının

hassas olarak belirlenmesi için istenir.

Jeofonların yerleştirilmesinde tamamen eşitlik sağlanamaz. Bir profil boyunca zemin homojen kabul edilse ve jeofonlar standart bir şekilde yerleştirilse bile jeofonlar civarındaki değişime bağlı olarak değişik bilgiler elde edilecektir. O'Brien (1967) aynı kayıt mesafesinde birbirine yakın yerleştirilmiş jeofon çıkışları arasında % 7-15'lik standart sapmalar hesaplamıştır. Bu sapmalar, jeofon grupları kullanılır ve jeofonlar gömülürse küçülürler (O'Brien 1967). Yerleşme ve rüzgar gürültüsüne bağlı amplitüt değişimlerinde jeofonların gömülmesiyle azaltılabilir.

#### Kullanılan Aletler,

Arazi çalışmalarında 12 kanallı analog bir sismograf kullanılmıştır. Kullanılan jeofonların doğal frekansı 10 Hz olup bunlar 5-200 Hz frekans aralığında % 5'ten daha az sapma gösterirler. Çalışma esnasında sinyaller manyetik banda kaydedilmiştir. Birinci rapordaki kısa profil verileri 10-200 Hz, ikinci ve üçüncü raporlardaki uzun profil verileri ise 10-100 Hz filtre seti aralığında playback yapılarak kayıtçıya taşınmıştır. Aletin frekans mukabele eğrisi Şekil-3 te gösterilmiştir. Sismogramlar okuma kolaylığı için milimetrik kağıda çizdirilmiştir.

#### İsveçteki araştırmanın saha çalışmaları ;

Kısa refraksiyon profilleri için farklı gevşek malzemeleri içeren 20 yer seçilmiş ve jeofonlar birer metre aralıklarla 0.2-0.3 m. toprağın altına gömülmüştür. Elektrikli kapsüller demir çubuklarla 0.50 m. derinlikte açılan ve sonra üzeri kumla doldurulan çukurlar içinde patlatılmıştır. Patlama noktaları kademe kademe birbirine zıt yönlere taşınmış ve böylece üst üste gelen (sismik kaynak-alcı) profilleri elde edilmiştir. Jeofonlar her profilede yere gömüldüğünden uygulama biraz fazla zaman almıştır. Ancak çukurlar birden fazla patlatma için kullanılmadığından benzer pulsuların elde edilme şansı vardır. Bu tip saha çalışmalarının en büyük dezavantajı tabaka sınırlarının dalımlarının sebep olabileceği süreksizliklerdir. Profillerin uzunluğu, ilk varışların net olarak okunabildiği maksimum mesafeye göre seçilmiştir. Bu uzaklıkta genel olarak 50 m. olmuştur.

#### İzlanda'daki Araştırmanın Saha Çalışmaları : (Rapor 2 ve 3)

Sandur'da uzunlukları 0.6-1.6 km. arasında değişen 20 profil düzenlenmiştir. Patlama noktasından itibaren 100 m'ye kadar jeofon aralıkları 10 m., 100 m'den sonrası için ise 50 m. seçilmiş olup jeofonlar ortalama 0.3 m. derinliğe yerleştirilmişlerdir. Ancak profillerin çoğunda zemin, jeofonların düzey ve sıkıca yerleştirilmesini güçleştirecek şekilde kaba malzemelerden oluşmuştur. Patlama noktaları sığ sular içine (0.4-1.5 m.) yerleştirilmiştir. Jeofon yayılımları 2-3 noktada üst üste gelmiştir.

#### Profil Verilerinin Değerlendirilmesi:

İlk adım olarak yol-zaman, artık amplitüt ve frekans diyagramları hazırlanmıştır. Önce amplitüt-yol diyagramlarında geometrik açılım için  $r^2$  faktörü kullanılmıştır. Buda hesaplamaların başında derinlik hakkında bilgi olmadığından kırıcı tabakada katedilen yol-

lun (L) kayıt mesafesine (r) yaklaştırılması anlamına gelmektedir. Bu yaklaşımla belirlenen artık amplitütler daha sonra gerçek amplitütle bulunan  $[(r.L^3)^{1/2}]$  dan biraz farklıdır. İkinci adımda bütün diyagramlar kırılmalara göre hazırlanmıştır. Artık amplitüt ve frekans diyagramlarındaki kırılmalar sadece yeni bir tabakaya geçişle değil aynı zamanda verilerdeki dağılımın artışı ve/veya süreksiz azalmaları (birkaç olayda artış) ile tanımlanmışlardır. Bu durum ilerki bölümlerde tartışılacaktır. Böyle özellik gösteren bölgeler şekil-4 teki diyagramlarda gölgeli olarak işaretlenmiştir. Tüm diyagramlardaki izlerin karşılaştırılmaları ile her profildeki hız hatları ayarlanmış ancak geçişlerin belirlenmelerinde sadece yol-zaman verileri kullanılmıştır.

Sonuç olarak aşağıdaki işlemler yapılmıştır,

1- Kabul edilen katetme mesafesi ile zaman verileri arasında en küçük kareler yönteminin uygulanmasıyla zahiri hızların hesaplanması,

2- Eğimli tabakaların varlığını kabul ederek gerçek hız ve derinlik hesaplanması.

3- Gerçek yayılım faktörü  $\sqrt{r.L^3}$  ile artık amplitütlerin yeniden hesaplanması. Bu sadece evvelce bulunan artık amplitütlerin  $(1-x_c/r)^{3/2}$  ile çarpımından elde edilmiştir. Bu durum  $r^2.(1-x_c/r)^{3/2} = (r.L^3)^{1/2}$  dem dolayı uygundur. Her yansıma düzlemi ile ilgili  $x_c$  (kritik mesafe) değerleri bir önceki basamağın sonuçları ile hesaplanmıştır.

Bütün amplitütler sanki ön dalga imiş gibi geometrik açılım için düzeltilmiştir. Bu yaklaşım genellikle 1-2 m. kalınlığında ince kuru yüzey tabakalarında direkt dalgaların nadiren kaydedildiği İzlanda Sandur sahası verileri için uygundur. İsveçte ise bozuşma zonlarında kısa aralıklarla ilk varışlar elde edilmiş fakat bunların amplitütleri kullanılmamıştır.

4- Erekan değişiminin derecesi ve artık sönüm hesabında kullanılan verilerin seçimi;

Geçiş noktalarının çevresinde dağılım göstermeleri nedeniyle verilerin bir kısmı kullanılmamıştır. Ayrıca geçiş aralıklarının bazen çok kısa olmalarından dolayı herhangi bir sonuca gitmekten çekinilmiştir.

5- Her tabaka ve kayıt yönü ile ilgili artık sönüm ve frekans değişim derecesinin bulunması;

En küçük kareler yönteminin kullanılması ve korelasyon katsayısının hesaplanması ile bu adım gerçekleştirilmiştir.

6- Her tabaka ile ilgili kesin sönüm ve frekans değişimi değerlerinin elde edilmesi için şu işlemler yapılmıştır.

- Karşıt atış kayıtlarının karşılaştırılması yapılmış ve sonuçlar arasında bir uygunluk yoksa kesin değerlendirmeye gidilmemiştir.

- Korelasyon katsayıları, eğer katsayı bir yönde çok küçük ise kesin değer yüksek korelasyonla seçilmiştir.

- Regresyon analizinde kullanılan veriler, eğer bir yönde bu-

lanan değer diğerinden bir kaç defa daha fazla veriye dayandırılmışsa o değer kesin değer olarak kullanılmıştır.

Regresyon ve korelasyon katsayıları çok fazla sapmadığı ve her iki kayıt yönünde de veri sayısı, aşağı yukarı, aynı olduğu zaman ortalaması kesin değer olarak seçilmiştir.

#### Sonuçlar :

İsveçte yapılan araştırma raporunda frekanslar analiz edilme-miş sadece çok sayıda ölçü almaya çalışılmıştır. İlk yarı devirde-ki son olaylarla dalga Őekilleri genelde bozulduğundan bu ek oldu-a zayıftır. Ayrıca diğer raporların sonuçları ile karşılaştırılıp (dB/ dalga boyu)'na görede artık sönümler yeniden hesaplanmıştır.

- Diyagramlardaki kırılma noktaları arasında korelasyon; Tablo-1 de bu korelasyon genelleştirilmeye çalışılmıştır. Ancak frekans ve amplitüt diyagramlarında belirli bir aralıktaki görülen ve aşağı yukarı belirgin olan kırılmalar için böyle bir genelleme-nin biraz sübjektif olduğu şüphesizdir. Yinede tablo-1 de diyag-ramlardaki uygunluk derecesi görülmektedir. Direk dalgalardan ilk kırılma ile oluşan yn değiştirmeler ihmal edilirler.

- Artık sönüm ve frekans değişimi derecesinin bulunması;

Artık sönüm ve frekans değişimi derecesinin doğrulukla bulun-duğu tabakaların sayısı tablo-2 de belirtilmiştir. Tablo aynı za-manda bir önceki bölümün son basamağında tarif edilenlerden deği-şik sonuçlarıda göstermektedir. Bu değerlerin doğruluğu bir sonra-ki bölümde tartişılacaktır.

- Artık sönüm ve jeolojik malzeme arasındaki korelasyon;

Mesafeye bağlı artık amplitüt değişmeleri Şekil-5 te hıza göre çizilmiştir. Diyagramdaki en belirgin özellik artık sönümün geniş dispersiyonlu oluşudur. İsveç'teki araştırmadaki dağılım diğerle-rindekiinden daha büyüktür. Snme göre jeolojik malzemelerin grup-laşmaları görülmez. Tüm kuru-gevşek birikintiler artık amplitütler-de mesafe ile artış gösterirken taban kayaların hemen tümü sönüm gösterir. Suya doygun birikintiler arasında çakılların çoğu sönüm göstermezken tillerin (buzultası) büyük bir kısmı sönüm gösterir. Fakat bu dağılım büyük çapta üst üste gelir.

#### TARTIşMA :

- Frekans ve amplitüt diyagramlarındaki kırılmalardan geçiş mesafelerinin tanınması;

Girişime uğramış n dalgaların frekans ve amplitüt izlerindeki etki Şekil-6 da gösterilmiştir. Geçiş mesafeleri civarında sente-tik dalga formlarının amplitüt ve frekanslarındaki değişim saha verilerinin çoğu ile uyumludur. Böylece yol-zaman grafiklerindeki kırılma noktalarının artık amplittlerdeki lokal maksimuma yakın olması beklenir.

İrlanda verilerinden çizilen amplitüt diyagramlarının kulla-nılmasıyla, değişik profillerden sadece yol-zaman analizi ile bu-lunanlardan 6 tabaka daha fazla bulunmuştur. Bu tabakalar küçük nuz artışları gösterir ve amplitüt diyagramlarında geniş aralık-

larla uzanmış titreşimler olarak belirirler (Şekil-6.A).

- Artık sönüm ve frekans değişiminin belirlenmesi ;

Değişik tabakalarla ilgili sönüm ve frekans değişiminin derecesi mevcut saha verilerinden hassas olarak bulunamaz. Artık amplitüt ve frekansın uzaklıkla büyük değişimler göstermeleri ve benzeri jeolojik malzemelerin gruplanmaları nedeniyle dağılım gösteren değerler hesaplamalarda belirsizliğe işaret ederler. Laboratuvarda bulunan kaya örneklerinin artık sönüm değerlerinin belirli bir dağılım göstermeleri gerekirse (Busby ve Richardson 1967, Wyllie vd. 1962, McCann 1969, O'Brien ve Lucas 1972) bu araştırmada bulunmamıştır.

Bu sonucu açıklamaya çalışmak için pekçok faktör gözönüne alınmalıdır.

- Regresyon analizinde kullanılan, dağınık veriler sonucu büyük ölçüde etkiler.

- Aletsel değişimler ihmal edildiğinden farklılıklar jeofon civarındaki zemin ve zemin-jeofon bağlantılarından kaynaklanabilir. İsveç'teki araştırmada zemin iri bloklu sedimentlerden tillere (buzul taşları) ve katı killere kadar değişik malzemelerden oluşmuştur. Jeofon-zemin bağlantısı kaba malzemeli arazide ince malzemeliye göre daha değişkendir. Ancak farklı bölgelerdeki tabakalar için korelasyon katsayıları karşılaştırıldığında zemin malzemelerine göre bir fark bulunmamıştır. Ayrıca korelasyonlar jeofon yerleştirmenin çok güç olduğu ve aşağı yukarı zemindeki tüm jeofon yerlerinin taşlık olduğu İzlanda'daki araştırmada İsveç'tekine göre daha iyi bulunmuştur. Yani verilerin dağınık olmasında zemin-jeofon bağlantısının pek önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Sistemati olmayan diğer değişimler ise jeofonlar çevresindeki zemin için dağılım faktörünü gösterir ki bununda açıklaması zordur. O'Brien (1967 :87) bu durumu yüzeye yakın, birbirlerine değişik uzaklıklardaki özellikleri değişik blokların birer titreşim osilatörü gibi davranmaları ile açıklamış ve aynı zamanda sismologların bu değişimleri önemsemeyip jeofon yayılımındaki değişimler olarak açıkladıklarını da belirtmiştir. Arazi verileri incelendiğinde bu iki faktörün birbirinden ayırt edilmesi zordur. Asıl neden ne olursa olsun bu dağılımdan tamamen kaçınılamaz ve sonuçlara gürlütü olarak girer. Tabaka kalınlığı fazla olmayan bazı bölgelerde sönüm veya frekans değişimlerinin hassas olarak bulunabilmeleri için dağınık veriler kullanılamaz. Sistemati olmayan bu iki faktör sadece tabakaların tespitindeki belirsizliği biraz açıklayabilir. Yüzey ve özellikle jeofon bağlantıları profiller boyunca düzensiz olarak değişir. Eğer hesaplamalarda kullanılan veri sayısı çoğalır ise belirlilikte artar. İsveç araştırmasında regresyon analizinde kullanılan veri sayısı 20 civarında, İzlanda araştırmasında ise sadece 6 dır. Bununla beraber şekil-5 teki diyagramda İzlanda verileri daha sağlıklı görülür. Ancak karşılaştırma pek uygun olmaz. Çünkü kayıt mesafesinin büyük oluşu nedeniyle İzlanda araştırmasında frekans ve amplitüt ranjı dolayısıyla şekil değiştirme daha fazladır. Yüzeye yakın yerlerdeki değişimler, belki, tamamen düzensiz-sede genel geçişleri içerirler. İsveçte jeofonlar hareket ettirilmediğinden ve İzlanda Sandurda ise ayrışma zonu (unweathered)



yeknesak oluşu nedeniyle bu tip geçişler adı geçen araştırmalarda ki sonuçları etkilemezler (Haraldsson) 1981.

Patlama pulslarındaki değişmeler jeofon yayımları için bir hata faktörü olabilir. Bu da amplitüt diyagramlarında verilerin süreksiz ötelenmeleri olarak belirirki İsveç diyagramlarında oldukça yaygın olup tabakaların dalımlarıyla açıklanabilir. Aynı uzaklıkta patlamaların tekrarlandığı yerlerde ölçülen amplitütlerde değişmeler genellikle yüzde birkaçtır. Yalnız birkaç olayda % 100'e varan değişmeler görülmüştür. Enerji kaynağı olarak tek kapsül kullanıldığı zaman bu değişmeler genelde ihmal edilebilir. Geniş enerji aralığının (0.1-10 kg.) kullanıldığı İzlanda araştırmasında hataları tahmin etmek çok zordur. Aynı enerji ile patlamaların tekrarlandığı yerlerde ölçülen amplitüt değerlerindeki değişmeler (Ort.% 14) aşağı yukarı (şarj ağırlık değişimlerinin küçük belirtileri ile) İsveç araştırmasındakinin aynıdır. Amplitütler, hesaplanmış örnekler yardımıyla düzeltilse de bazen büyük değişimler göstermişlerdir. Aynı patlama noktasında değişik enerji miktarlarının kullanılması tamamen düzeltilemeyen ve artırılan enerji miktarı ile artan bir hata ortaya koyar.

Daha öncede belirtildiği gibi, Donato ve O'Brien (1963), eğer geometrik açılım faktörü  $\sqrt{r.L^3}$  uygulanırsa L uzunluğunun hakim dalga boyundan beş kat daha büyük olması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu koşul hakim dalga boyu 18-270 m. (ortalama 100 m. den az) ve kayıt mesafesi 1600 m.'ye kadar olan İrlanda verileri nadiren de dalga boyu 3-27 m. (ortalama 10 m.) ve kayıt mesafesi maksimum 51 m. olan İsveç verileri için uygulanmıştır. Eğer L çok küçük ise kullanılan açılım faktörü doğru olmaz, mesafe ile değişir. Bununlada İsveç araştırmasında bulunan sönümün neden büyük bir dağılım gösterdiği açıklanabilir.

$\sqrt{r.L^3}$  katsayısının kullanılması için gerekli diğer koşul, kırıcı tabakanın kalın olmasıdır. Kritik kalınlık empedans kontrastına ve Z kırıcı tabakanın kalınlığı olmak üzere L/Z oranına bağlıdır. O'Brien (1967) birkaç dalga boyundan daha kalın ve yarım dalga boyundan daha ince modeller düzenlemiştir. Sunulan araştırmalarda pek çok tabakanın boyutu bu modellerin boyutları arasında yer alır. İnce tabakalar için geometrik açılım faktörü kalın tabakalarınkinden küçük olup değeri ampirik ilişkilerden hesaplanır (Rosenbaum 1965, Donato 1965). Genellikle burada yapıldığı gibi, tüm kırıcı tabakaları kalın ederek amplitütler çok büyük geometrik açılım faktörü ile dengelenir. Bu durumda diyagramlarda görüldüğü gibi artık amplitütlerin artışı ile sonuçlanabilir. Değişik bölgelerdeki tabaka kalınlıklarının eşit olmayışları benzer jeolojik malzemelerdeki değerlerin dağınık oluşlarına neden olabilir. Ancak diğer faktörlerde artık amplitütlerin mesafe ile artışlarının nedeni değildir. Eğer ortam, derinlikle hızda gerçek bir artışla karakterize edilirse, ön dalga oluşmaz. Eğri dalga yolları basit kırılmış dalgalarla tahmin edilir. Bu tip dalgalar ( $r^{-1}$ ) e yakın bir açılım faktörüne sahiptir. Eğer sönüm çok büyük değilse ( $r.L^3$ )  $1/2$  düzeltme faktörü olarak kullanıldığı için artık amplitütler mesafe ile artar. Muhtemelen pozitif hız gradienti ile negatif sönüm gradienti aynı zamanda meydana gelirken buda hesaplanan artık amplitütlerin artışına yardım eder. Değişik tipte yapılarda artık

amplitütlerin artışına yardım eder. Laster vd. (1967) aletsel olarak tabaka sınırlarında düşey küçük dalgalanmaların amplitütleri oldukça etkilediğini belirtmişlerdir. Yukarı doğru içbükey tabaka sınırları gelen enerjinin odaklaşmasına neden olur ki buda belirli kayıt aralıkları boyunca amplitütlerde artışla sonuçlanabilir. Ancak jeolojik birimlerin yatay boyutlarının ölçülen amplitütleri etkilemesi için pulsun hakim dalga boyundan daha büyük olması gerekmektedir. Jeolojik yapı İsveçte üzerinden birkaç profilin geçtiği bir yerde gözlenebilmiştir. Aynı yapı belkide diğer profillerde de mevcuttur. Fakat sonuçları ne dereceye kadar etkilediğini belirlemek çok zordur.

Sonuç olarak (yapı ve ince tabakalar değil) artık amplitütlerin mesafe ile artışlarının ilk sebebi olabilir. P dalgası hızlarındaki değişimler porozite değişimleri ile yakından ilgilidir. Kompresibilitelerine bağlı gevşek depozitlerdeki prozitenin derinlikle değişiminin derecesi taban kayadakinin çok daha büyüktür. Böylece gevşek depozitler büyük hız gradientleri ile karakterize edilirler. Bu durum taban kayalara oranla gevşek depozitlerdeki pozitif  $dAr/dr$  için akla yakın bir açıklama olarak görünür (Şekil 5). Özellikle çok porozlu taban kayalarda, hız değişimleri çok az da olsa sönüme etki eder. Uzun kayıt aralıklarında hızın derinlikle değişimi yanında bölgesel küçük uyumsuzluklarda sonuçlarda etkili olmuştur (Şekil-6A).

Stratifrafide yoğunluk ve dolayısıyla hızın derinlikle artışı, yapıda ve hızda küçük değişiklikler olması bilinen özelliklerdir. Genellikle artık amplitütlerde bu faktörler için kantitatif bir düzeltme elde etmek çok zordur. Böylece, sonuç olarak saha refraksiyon verilerinden sismik tabakalar için tam sönüm nadiren elde edilir. Eğer derinlik değişimleri az ise hız değişimlerinin benzer tabakalarda aynı olması gerektiğinden  $dAr/dr$  halen karşılaştırmalarda enteresan bir parametre olabilir. Ancak benzer malzeme grupları içindeki dağılım pozitif  $dAr/dr$ 'nin kullanılması hakkında karamara varmak için çok geniştir. Bu dağılımın muhtemel nedeni ilerde tartışılacaktır.

Tabakaların çoğunda karşıt yönlerde elde edilmiş kayıtlardan bulunmuş  $dAr/dr$  değerlerinde büyük değişimler görülür. Bu sonuç dalan tabakalar nedeniyle olmalıdır. Amplitüt verilerinin değerlendirilmesinde tabakalar için hazırlanan yol-zaman denklemlerine benzer ışın yolu denklemlerinden faydalanılır. Ancak buda hız değişimleri gibi amplitüt etkileyici diğer faktörlerin sönümden ayırtlanamadığı yüzey tabakalarında pür sönümün bilinmemesi nedeniyle mümkün değildir. Karşıt yönlerde alınan kayıtlarda büyük dağılımlar görülmesi nedeniyle yeterli sonuç elde edilememiştir. Beğenilen verilerde kayıt yönlerine göre belirli bir dağılım görülür. Ortalamanın veya özellikle bir profil yönünde bulunan değerlerin kullanılması şekil-5 te görülen dağılıma neden olan bir hata ortaya çıkarır. Böylece sismik tabakalardaki artık sönümün doğrulukla bulunamayışının nedeni tabakaların meyilli olmasına bağlanabilir. Bu durum daha önce tartışılan bir veya birkaç faktörle ilgilidir.

Ölçülen frekanslar bu faktörler tarafından benzer şekilde etkilenir. Buda frekans değişiminin pür sönümün işareti olarak kulla-

nılmasını sakıncalı kılar. Ayrıca frekans değişimi amplitüt değişimine göre daha dağınıktır. Bu durum diyagramlardan görülebileceği gibi frekans verilerinin son derece dağınık olmalarıyla açıklanabilir. Böylece sistematik olmayan faktörler (zemin ve zemin-sismometre bağlantıları) ölçülen frekansları amplitütlere göre daha büyük çapta etkiler gibi görülür.

#### ÖZET :

Bu araştırmaların sonuçları artık amplitüt ve frekans diyagramlarının hız seviyelerinin belirlenmelerinde yardımcı olabileceği düşüncesiyle frekans ve amplitüt analizlerini gösterir. Geçiş bölgelerinde değişik ön dalgalar arasındaki yüzey, yaygın frekans ve amplitüt dağılımlarına neden olur. Genelde bu tip özelliklerle birlikte sönümdeki değişen geçişler ve süresiz ötelemeler amplitüt ve frekans diyagramlarında yol-zaman diyagramlarından daha belirgin uyumsuzluklar yaparken buda sadece yol-zaman analizi yapıldığı zaman küçük hız farklılıklarına sahip tabakaların kaçırılmaması için faydalıdır.

Artık sönüm ve frekans değişiminin derecesi aşağıdaki nedenlerden hassas olarak bulunamaz.

Büyük ölçüde ;

- Dalan kontaklar,
- Tabakalardaki hız değişimleri,
- Havalandırma zonundaki değişmelere bağlı dağılımlar,

Az ölçüde ;

- Zemin-jeofon bağlantısına bağlı dağılımlar,

Bilinmeyen Derecede ;

- Patlamalardaki enerji değişimleri,
- Küçük hız farklılıkları sebebiyle değişik ön dalga varışları arasındaki girişimler,
- Çok ince tabakalar,
- Büyük boyutlu yapılar.

Bu faktörler arasında jeolojik durum (daha çok stratigrafi) daha etkin olduğundan refraksiyon araştırmalarından artık sönüm ve frekans değişimlerinin hassasiyetle bulunmalarında çok ender olur.

EK :

Artık sönümlerin hassasiyetle ölçülmesi için gerekli koşullar,

O'Brien (1967) sismik refraksiyon araştırmalarında amplitüt hesabı yöntemini vermiştir. Fakat jeolojik özelliklerden pek az bahsetmiş ve elde ettiği sonuçları büyük çapta saha ölçümlerinden çıkarmıştır. Küçük ölçekteki refraksiyon çalışmalarını için istenilen stratigrafik özellikler burada gerekir.

Aşağıda belirtilenler, önceki bölümlerde tartışılan konulara dayandırılmıştır. Refraksiyon verilerine göre belirlenen sismik tabakaların artık sönümlerinin bulunmaları için aşağıdaki stratigrafik bilgiler gereklidir.

- Kontaklar birkaç dereceden daha fazla dalıma sahip olmamalı-

dır. Fakat kırıcı tabakanın üstündeki diğer tabakaların pür sönümleri bilinirse bu sınırlandırma istenmeyebilir.

- Uzun aralıklarda kaydedilen dalga şeklinin ilk yarı devresindeki bızulmalardan kaçınmak için hız farklılıkları yeterli derecede olmalıdır.

- Tabakalar büyük hız değişimleri ile karakterize edilmemelidir. Yani tabakalar iyi konsolide olmalıdır.

- Tabakalar geometrik yayılım için sağlıklı düzeltmelere izin verecek derecede pulsların hakim dalga boyundan 2-3 defa daha kalın olmalıdır.

- Tabakalar kırıcı tabaka içinde alınan yolun hakim dalga boyunun 5-6 katı olmasına izin verecek kadar yeterli kalınlıkta olmalıdır.

- Büyük boyutlu yapılar hariç, tabakalar paralel istiflenmiş olmalıdır. Zemin özellikleri profiller boyunca farkedilir derecede değişmemelidir.

Saha çalışmalarında aşağıdaki öneriler verilir;

- Profiller yükseklik ve havalandırma zonundaki değişmelerin enaz olduğu yönü takip etmelidir.

- Profiller en derin tabakadan kayıt alabilecek kadar uzun olmalıdır.

- Her profil için mümkün olan en az serilim kullanılmalıdır. Mümkünse çok sayıda kanal ve/veya alet kullanılmasıyla her profilin sonunda sadece bir patlama yapılması tercih edilmelidir.

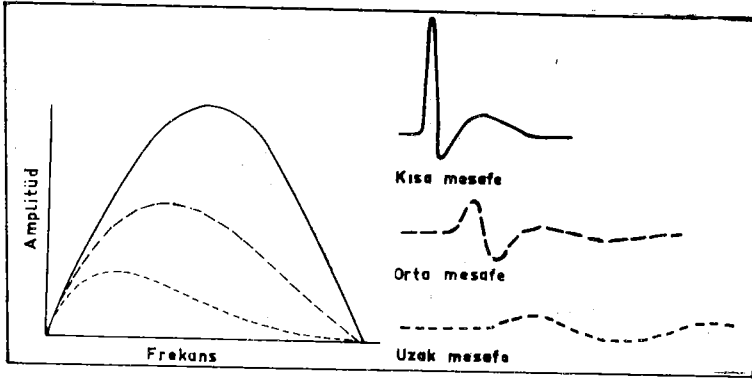
- Aynı yerde birden fazla patlama yapılırsa uzak kayıt noktalarında gürültülü varışlar olmaması için enerji miktarı mümkün derecede azaltılmalıdır.

- Birden fazla jeofon yayılımı kullanılırsa en az iki-üç jeofon üst üste gelmelidir.

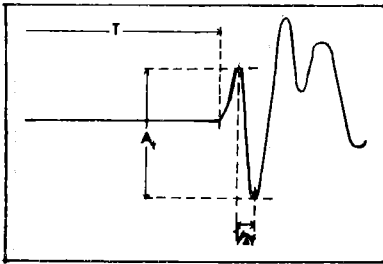
- Jeofon dağılımı her tabakadan hesaplamalarda kullanılabilen en az 5-6 ilk varış verecek şekilde ayarlanmalıdır.

- Jeofonlar zemine gömülmeli ve standart bir tarzda yerleştirilmelidir.

- Tabakaların yatay istiflendiği kesin olarak bilinmiyorsa profil yönlerinin ve atış noktalarının kaydırılmalarının önceden kararlaştırılması uygun olmaz.



Şekil-1 Amplitüd spektrumları ve değişik uzaklıklarda frekans-bağımlı dalgâ formları

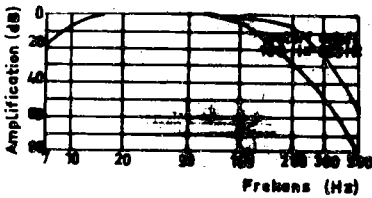


Şekil-2 Dalgâ formlarının ölçülen özellikleri.

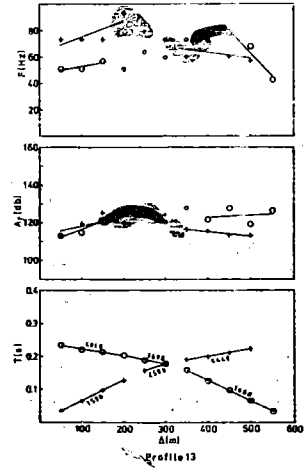
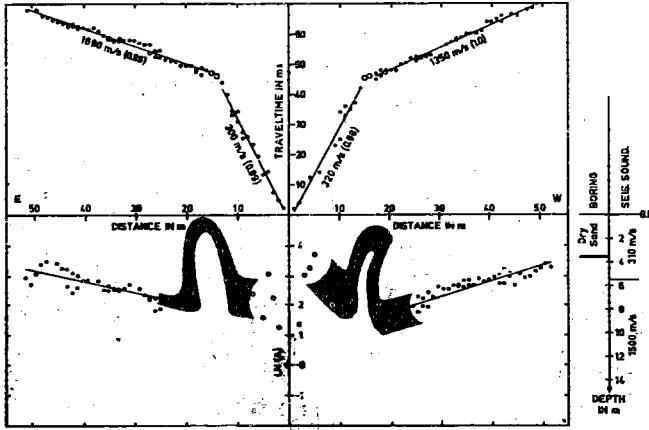
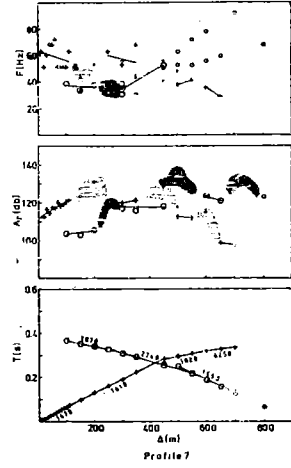
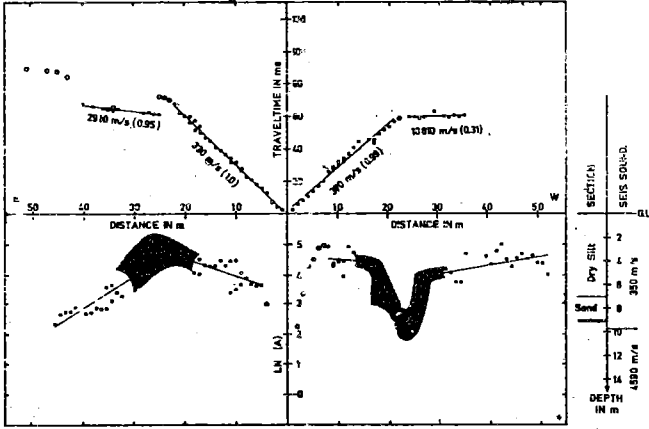
T : ilk varış zamanı

$A_t$  : amplitüd izi (aşığı ve yukarı doğru ilk sapmaların tepe noktaları arasındaki düşey mesafe)

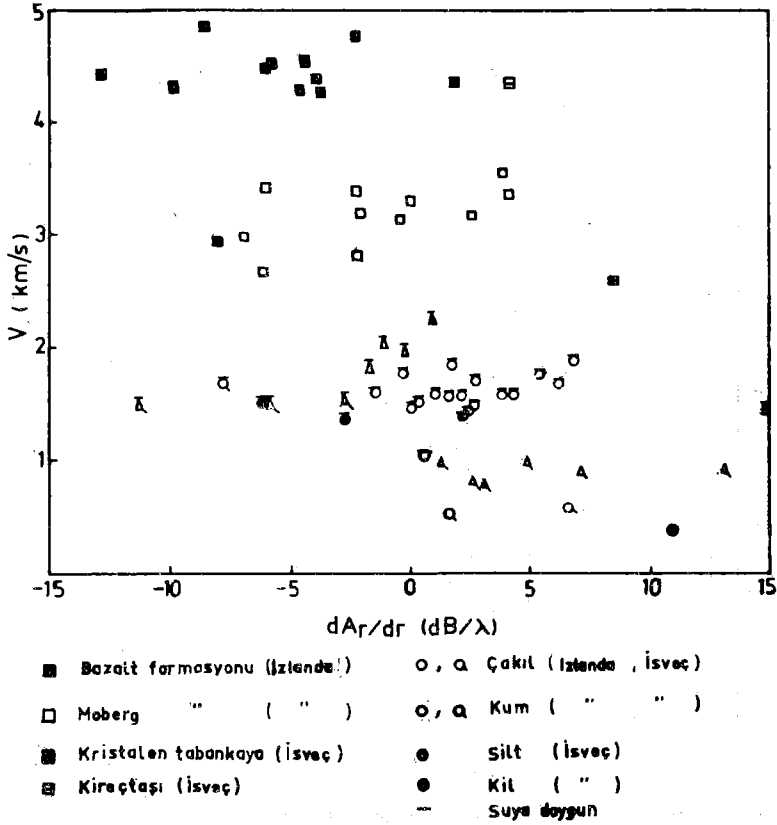
f : frekans (aşığı ve yukarı doğru ilk sapmaların tepe noktaları arasındaki yatay mesafeden  $(1/2 f)$  hesaplanır.



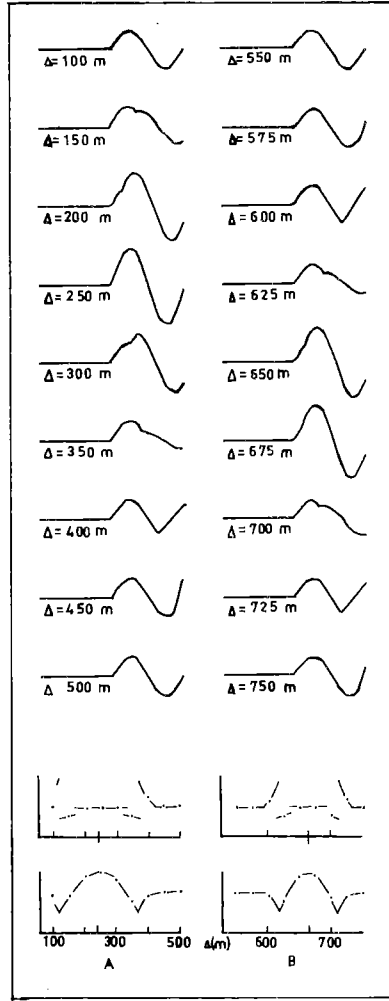
Şekil-3 Alet sisteminin frekans cevabı (amplifier, modülatör-demodülatör ve filtreler).



Şekil-4 Araştırmalardaki Birkaç Profilin Yol-Zaman Artık Amplitüd ve Frekans Diyagramları



Şekil-5 Çeşitli Jeolojik Birimlerin Hız Değerlerine Göre Artık Sönüm Değerleri



Şekil-6 Çeşitli uzaklıklarda ön dalgalar ve dalga formlarının frekans ve amplitüd izleri. Dalga formları,uzaklıkla enerji kaybı olmadığı kabul edilerek sin eğrisine eşit iki ana dalga olarak genelleştirilmiştir. A ve B hızları V ve kalınlıkları D olan iki ayrı sismik-stratigrafiyi gösterir.

$$A : V_1 = 900 \text{ m/sn}, V_2 = 2500 \text{ m/sn}, V_3 = 3500 \text{ m/sn}.$$

$$D_1 = 40 \text{ m}, D_2 = 44 \text{ m}, \text{ön dalga frekansı} = 35 \text{ Hz}.$$

$$B : V_1 = 1565 \text{ m/sn}, V_2 = 2090 \text{ m/sn}, V_3 = 4300 \text{ m/sn}.$$

$$D_1 = 57 \text{ m}, D_2 = 170 \text{ m}, \text{ön dalga frekansı} = 43 \text{ Hz}.$$



Tablo-1 Grafiklerde birbirine karşı gelen kırılmalar arasındaki korelasyon.

	İsveç'te kısa profiller	İzlanda'da uzun profiller
T <sup>+</sup> A <sup>+</sup> F <sup>+</sup>	16	38
T <sup>+</sup> A <sup>+</sup> F <sup>-</sup>	3	8
T <sup>+</sup> A <sup>+</sup> F <sup>o</sup>	6	-
T <sup>+</sup> A <sup>-</sup> F <sup>+</sup>	1	3
T <sup>+</sup> A <sup>-</sup> F <sup>-</sup>	1	6
T <sup>+</sup> A <sup>o</sup> F <sup>+</sup>	1	-
T <sup>-</sup> A <sup>+</sup> F <sup>+</sup>	3	4
T <sup>-</sup> A <sup>+</sup> F <sup>-</sup>	1	-
T <sup>-</sup> A <sup>+</sup> F <sup>o</sup>	2	-
T <sup>-</sup> A <sup>-</sup> F <sup>+</sup>	1	-

+ : Kırılma

- : Kırılma yok

o : Veri yok

T : Yol-zaman grafiği

A : Amplitüt grafiği

F : Frekans grafiği

Tablo-2 Her iki araştırmada bulunan artık sönüm ve frekans değişimi derecelerinin sayıları

Yol-zaman grafiklerinden bulunan tabaka sayıları	İsveç'te kısa pr.		İzlanda'da uzun pr.	
	31 Artık Frekans Sönüm Değişimi		51 Artık Frekans Sönüm Değişimi	
Karşıt atış ortalaması olarak bulunanlar	9	3	21	14
Bir profil boyunca karşıt atış yönünde				
Çok az veri	-	-	6	5
Zayıf korelasyon	5	-	-	-
Veri yokluğu	6	3	18	15
	11	3	24	20
Karşıt atış yönlerinde değerlerin bir-birinden farklı	11	17	2	16
Hassas veri yokluğu	-	8	4	11
nedenlerinden hesaplamalarda göz ardı edilenler				
	11	25	6	27

## KAYNAKLAR

- Bubsy, J. and Richardson, E.G., 1957: The absorption of sound in sediments, *Geophysics* 22, 821-828
- Donato, R.J., 1965: Measurements on the arrival refracted from a thin high speed layer. *Geophys. Prosp.* 13, 387-404.
- Donato, R.J. and O'Brien, P.N.S., 1963: The refracted pulse in seismic prospecting: Presented at the 6th World Petroleum Congress, Frankfurt, 19-26 June, (Reference from O'Brien, 1967).
- Geyer, R.L. and Martner, S.T. 1969: SH waves from explosive sources. *Geophysics* 34, 893-905
- Hamilton, E., 1972: Compressional-wave attenuation in marine sediments. *Geophysics* 37, 620-646.
- Haraldsson, H. 1981: Striae No. 15, in prep.
- Haraldsson, H. and Palm, H., 1980: A seismic investigation in the Markarfljot sandur area, southern Iceland. *Striolae* 1980: 2, Uppsala, 54 pp.
- Heelan, P.A., 1953: On the theory of head waves. *Geophysics* 18, 871-893.
- Easter, S.J., Backus, M.M. and Schell, R., 1967: Analog model studies of the simple refraction problem. In Musgrave, A.W. (ed) *Seismic Refraction Prospecting*. Soc. of Exp. Geoph., Tulsa, Oklahoma, 15-66.
- Magnusson, K.A., 1976: In situ determination of elastic constants in rocks, using a hammer seismograph. *Geol. Fören. Stockh. Förh.* 98, 244-250
- Mc Cann, C. and Mc Cann, D.M., 1969: The attenuation of Compressional waves in marine sediments. *Geophysics* 34, 822-892.
- Meidav, T., 1967: Shear wave velocity determination in shallow seismic studies. *Geophysics* 32, 1041-1046
- O'Brien, P.S.N., 1960: The use of amplitudes in refraction shooting-A case history. *Geophys. Prosp.* 8.417-428.
- O'Brien, P.S.N., 1967: The use of amplitudes in seismic refraction survey. In Musgrave, A.W. (ed) *Seismic Refraction Prospecting*. Soc. of Exp. Geoph., Tulsa, Oklahoma, 85-118
- O'Brien, P.N.S. and Lucas, A.L., 1971: Velocity dispersion of seismic waves. *Geophys. Prosp.* 19, 1-25
- Palm, H., 1980: Undersökning av amplitudmatningars använbarhet vid seismiska refraktionsmatningar över lösa jordlager (An investigation of the use of amplitudes in seismic refraction survey over loose deposits. In Swedish with an English Summary). *Qufo*: 1, Uppsala, 39 pp.

- Palm, H., 1981: An interpretation of seismic refraction data by use of travel-times, amplitudes and frequencies. *Striolarae* 1981: 1, Uppsala, 19 pp.
- Palmason, G., 1970: Crustal structure of Iceland from explosions seismology. *Rit 40*. Reykjavik: Soc. Sci. Island. 187 pp.
- Rosenbaum, J.H., 1965: Refraction arrivals through thin high velocity layers, *Geophysics* 30, 204-212.
- Wyllie, M.R.J., Gardner, G.H.F. and Gregory, A.R., 1962: Elastic wave attenuation. *Geophysics* 7, 569-589.
- Zvolinsky, N.V., 1958: Reflected and head waves arising at a plane interface of two elastic media-II, Equation 21. *Bull. Ac. Sc. U.S.S.R.* No 1, 1-7 (English translation by A.G.U.)