

GİRİŞMİŞ DALGALARDA GECİKME ZAMANLARININ GÜÇ KEPSTRUM YÖNTEMİ İLE SAPTANMASI

Prediction of Delay Times for Interfered Seismic Waves by Power Cepstrum Method

Veli Kara* ve Ömer ALPTEKİN**

ÖZET

Bir asal olay ve onun belirli zaman gecikmeli yankılarının toplamından oluşan sismik izlerde gecikme zamanı yeterli büyüklükte değilse olayların ayrılabilmesi zorlaşmaktadır. Bu türdeki girişmiş olayların ayrılmasında güç kepstrumu (Power Cepstrum) yöntemi oldukça etkindir. Bu çalışmada, ikinci olayın geliş zamanının, güç kepstrum yöntemi ile sağlıklı bir biçimde saptanabileceği gösterilmiştir. Bu amaçla rasgele alınmış bir dalgacık (wavelet) asal olay kabul edilerek belirli gecikme zamanı ve yansıma katsayıları için meydana gelen yankılar ile girıştırılmıştır. Bu şekilde elde edilen yapay sismik izde, girişen dalgaların gecikme zamanları güç kepstrumu yöntemi ile saptanmıştır. Sonuçta, herhangi bir şekle sahip asal olay ve onun t_0 zaman gecikmeli yankılarının toplamından oluşan yapay izlerde gecikme zamanlarının saptanabilmesi için, genlik spektrumlarında t_0 'a karşılık gelen frekanslarda yapay izin genlik değeri aynı frekanstaki asal olayın genlik değerlerine eşit veya büyük olmaması gerektiği gösterilmiştir. Genliklerin eşit veya büyük olması durumunda gecikme zamanını saptamak imkansız olmamakla beraber zorlaşmaktadır.

Yöntemin sismolojide karşılaşılan çeşitli girişim olaylarının çözümlenmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

ABSTRACT

In a seismic record which is composed of a main event and its time delayed reflections, it is difficult to separate the main event and the reflections if delay times are not sufficiently long. In this paper, it is shown that the Power Cepstrum can be used to predict delay times reliably. To demonstrate the capabilities of this method a complex seismic record is formed by superposing a random wavelet and its time delayed reflections. Then the delay times are predicted by using the power cepstrum. Experiments show that in order to predict delay times, it is necessary that the spectral amplitudes of the synthetic seismogram at frequency corresponding to t_0 are not equal or greater than the spectral amplitude of the main event at the same frequency. In case of equal spectral amplitudes, prediction becomes more difficult but still possible.

It is hoped that this method can be used to solve some interference problems in seismology.

GİRİŞ

Kepstrum kavramı yeni olmamakla birlikte jeofizik problemlerine uygulanması Robinson (1954) ile başlar. Daha sonra Bogert ve diğerleri (1963) güç spektrumu üzerinde basit yankıları asal olaydan ayırt edebilmek amacıyla kepstrum yöntemini önermişlerdir. Bunu Schafer (1969), Oppenheim ve Schafer (1975), Tribolet (1978) ve diğer birçok araştırmacının kepstrum ve kompleks-kepstrum yöntemini çeşitli jeofizik problemlere uygulamaya çalışmaları izlemiştir.

trum yöntemini çeşitli jeofizik problemlere uygulamaya çalışmaları izlemiştir.

Bu çalışmada, girişmiş sismik izlerde yankıların gecikme zamanlarının belirlenmesinde güç kepstrumu yönteminin etkinliği araştırılarak yapay izlerden elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Önce yöntemin teorik esasları anlatılmıştır. Daha sonra tasarlanan bir asal olay ve bunun t_0 zaman gecikmeli yankısının toplamından oluşan yapay izler elde edilmiştir.

* KTÜ, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Müh. Böl.-Trabzon

** İ.Ü., Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Böl.-İstanbul

lerek yöntem bunlara uygulanmış ve duyarlılığı saptanmaya çalışılmıştır.

GÜÇ KEPSTRUMU VE HESAPLANMASI

Çeşitli etkenlerle ortam içinde birikmiş enerjinin açığa çıkarak elastik dalgalar halinde yayılması esnasında algıyalıcılar tarafından kaydedilen sismik iz; $x(t)$ gibi ilk olay ve onu izleyen t_0 zaman gecikmeli $Ax(t - t_0)$ yankıları ile $N(t)$ rasgele gürültülerinin toplamından oluşmaktadır (Silvia ve Robinson 1978).

$$y(t) = x(t) + A x(t-t_0) + N(t) \quad (0 < A < 1)$$

Gürültülerin uygun bir süzgeçle süzülüp varsayılarak yapay sismik iz yalın halde

$$y(t) = x(t) + A x(t-t_0) \quad (1)$$

kabul edilebilir. Bu denklemin her iki tarafının Fourier dönüşümü alınıp,

$$\begin{aligned} Y(w) &= X(w) + A \int_{-\infty}^{\infty} x(t-t_0) \exp(-iwt) dt \\ &= X(w) + A \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \exp(-iw(t+t_0)) dt \end{aligned}$$

Fourier dönüşümünün öteleme özelliğine dikkat edilir ve yeniden yazılırsa,

$$Y(w) = X(w) + A \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \exp(-iwt) dt \exp(-iwt_0) \quad (2)$$

elde edilir. Burada,

$$\int_{-\infty}^{\infty} x(t) \exp(-iwt) dt = X(w)$$

ilk olayın genlik spektrumu olduğundan

$$\begin{aligned} Y(w) &= X(w) + A X(w) \exp(-iwt_0) \\ &= X(w) [1 + A \exp(-iwt_0)] \end{aligned} \quad (3)$$

elde edilir. Görüldüğü gibi yankının spektruma katkısı $2\pi/t_0$ ile takrarlanan periyodik bir fonksiyondur.

Karmaşık (kompleks) değişkenler için güç spektrumu, Fourier spektrumunun karesi şeklinde yazılacağından

$$\begin{aligned} Y(w)Y^*(w) &= X(w)X^*(w)[1 + A \exp(-iwt_0)][1 + A \exp(iwt_0)] \quad (4) \\ |Y(w)|^2 &= |X(w)|^2 \left[1 + \frac{2A(\exp(-iwt_0) + \exp(iwt_0))}{2} + A^2 \right] \end{aligned}$$

elde edilir. Burada *, karmaşık eşlenik (complex conjugate)'i simgelemektedir.

$P_y(w)$ sismik izin, $P_x(w)$ da ilk olayın güç spektrumunu göstermek üzere (4) denklemi yeniden düzenlenirse

$$P_y(w) = p_x(w) \left[1 + 2A \cos wt_0 + A^2 \right] \quad (5)$$

elde edilir. Görüldüğü gibi $P_y(w)$ güç spektrumuna yankıların katkısı $(1 + 2A \cos wt_0 + A^2)$ şeklindedir. (5) denkleminde her iki tarafın logaritması alınır, bileşenlerin çarpımından oluşan sismik izin güç spektrumu bileşenlerin toplamı haline dönüştürülür.

$$\text{Log} P_y(w) = \text{Log} P_x(w) + \text{Log} [1 + 2A \cos wt_0 + A^2] \quad (6)$$

$(2A \cos wt_0 + A^2)$ 'ye x denilerek, eşitliğin sağ tarafındaki ikinci terimin

$$\text{Log}[1 + x] = \left(x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 - \frac{1}{4}x^4 + \dots \right)$$

şeklinde seriye açıldığı düşünülür ve (6) denklemi yeniden yazılırsa

$$\begin{aligned} \text{Log} P_y(w) &= \text{Log} P_x(w) \\ &+ \left[A^2 + 2A \cos wt_0 - \frac{1}{2}(A^2 + 2A \cos wt_0)^2 + \dots \right] \\ &= \text{Log} P_x(w) \\ &+ \left[A^2 + 2A \cos wt_0 - 2A^2 \cos^2 wt_0 + \dots \right] \end{aligned}$$

elde edilir. Denklemin sağ tarafındaki ikinci terim

$$2A^2 \cos^2 wt_0 = A^2 + A^2 \cos 2wt_0$$

şeklinde yazılırsa

$$\begin{aligned} \text{Log} P_y(w) &= \text{Log} P_x(w) \\ &+ [2A \cos wt_0 - A^2 \cos 2wt_0 + \dots] \end{aligned} \quad (7)$$

elde edilir. Buradaki A yansıma katsayısı olup değeri $0 < A < 1$ arasında değişmektedir. (7) eşitliğinin sağ yanındaki ikinci terimde $A^2 \cos 2wt_0$ ve daha sonrakiler gittikçe küçüleceklerinden ihmal edilmeleri halinde büyük bir hata yapılmış sayılmaz. Böylece, sismik izin logaritmik güç spektrumunu veren (7) denklemi

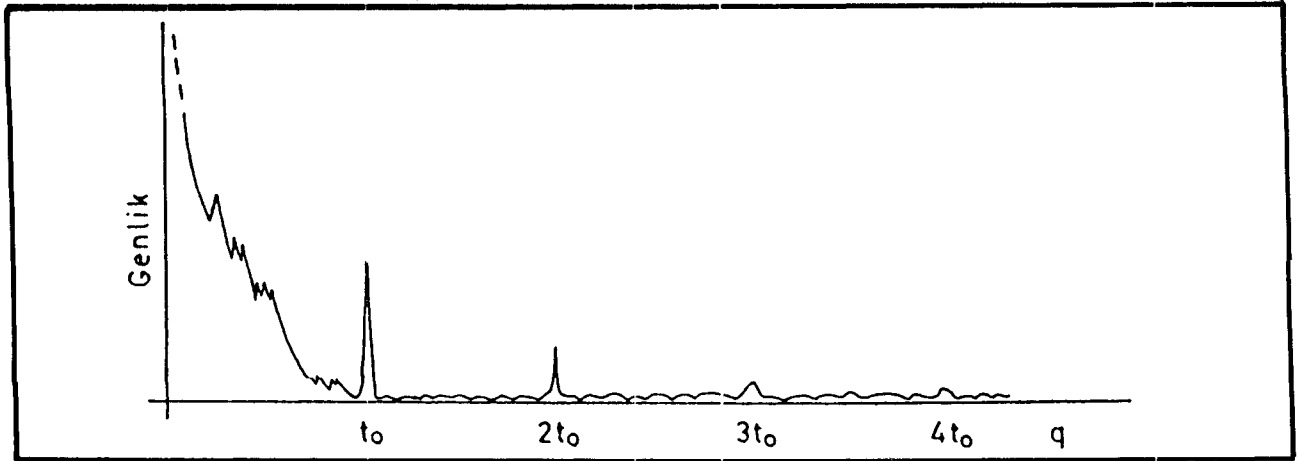
$$\text{Log} P_x(w) \cong \text{Log} P_y(w) + 2A \cos wt_0 \quad (8)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradan açıkça görülmektedir ki, orijinal güç spektrumu üzerinde t_0 gecikmeli yankının etkisi bir kosinüsoidal dalgacık şeklinde eklenmiştir (Kanasewich 1972, s.110).

Sismik izin logaritmik güç spektrumu $\text{Log} P_y(w)$ 'nin Fourier dönüşümü

$$C(c) = \int_{-\infty}^{\infty} \text{Log} P_y(w) \exp(-iwt_0) dw \quad (9)$$

dir. Bunun karesi, sismik iz $y(t)$ 'nin logaritmik güç spektrumunun güç spektrumudur.



Şekil 1. Sismik izin güç keprstrumu. Gecikme zamanı ve katlarında tekrarlanan pikler oluşmaktadır.

Fig. 1. Power cepstrum of seismic trace. Dominant peaks are evident at delay time lag and its multiples.

$$C(p) = |C(c)|^2 \quad (10)$$

Böylece, güç keprstrumu olarak tanımlanan yeni bir dizi elde edilir. Burada p'nin birimi yine saniye olup ancak ortam zaman değil keprstrum (cepstrum) ortamıdır. Zaten "cepstrum" deyimini "spectrum" kelimesinde bazı harflerin yerlerinin değiştirilmesi ile türetilmiştir. (Kemerait ve Childers 1972, Bogert B.P., Healy and Tukey 1963).

Yankıların güç keprstrumuna katkısı; t_0 gecikmesi ve katlarına karşılık gelen zamanlarda küçülerek tekrarlanan "pik"ler şeklindedir Şekil (1).

YAPAY VERİLERE UYGULAMA

İlk olay olarak kabul edilen $x(t)$ dalgacığı ve onun t_0 kadar kaydırıldıktan sonra $A(0 < A < 1)$ ile çarpılmasından elde edilen yankının toplamından oluşan

$$y(t) = x(t) + Ax(t-t_0) \quad (1)$$

şeklindeki yapay sismogram; bileşenlerinden biri ilk olay $x(t)$, diğeri bir impuls dizisinden oluşan iki sinyalin konvolüsyonu olarak düşünülmektedir.

$$y(t) = [\delta(t) + A \delta(t-t_0)] * x(t) \quad (11)$$

$$y(t) = (1, 0, \dots, 0, A) * x(t) \quad (12)$$

$t_0 - 1$

şeklinde ifade edilebilir. Pratik olduğu için uygulamalarda hep bu ifade şekli kullanılmıştır.

Yöntemin sınaması sırasında çeşitli algoritmalar denenmiştir. Ancak ileride verilecek olan örneklerde şekil 2a'da verilen algoritma kullanılmıştır.

Şekil 2b'deki algoritma güç keprstrumunda yansıma zamanındaki pikin genliğini yükseltirken şekil 2c'deki algoritma daha da küçültmektedir. Yukarıda verilen algoritmalarda ikinci kez alınan Fourier dönüşümü yerine ters Fourier dönüşümünün alındığı aşağıdaki algoritmada çıkış keprstrumu verecektir.

Kepstrumda da yansıya gelen dalganın yansıma zamanında bir pik görülecektir. Ancak, bilgisayar çıkışında yansıma zamanını hemen saptamak biraz güçtür. Grafik çıkışlarda bu pikler net olarak gözlenebilir. Ayrıca bu pikler $2t_0, 3t_0, \dots$, da işaret değiştirerek tekrarlanırlar. Bu durum (daha sonraki bölümde açıklanacak olan) bazı şartlarda bir avantaj olabilir.

ÖRNEKLER

İlk gelen olay $x(t)$, analitik olarak $t e^{-at}$ şeklinde ifade edilebilen bir dalgacık (Şekil 4) kabul edilerek (Kemerait ve Childers 1972) farklı geliş zamanı ve yansıma katsayıları için elde edilen yapay sismogramlara yöntem uygulanmış ve güç keprstrumları elde edilmiştir (Şekil 5-7).

Görüldüğü gibi, ilk olay olarak kabul edilen $t e^{-at}$ şeklindeki bir dalgacık için gecikme zamanı ve yansıma katsayısı ne olursa olsun, gecikme zamanı oldukça sağlıklı bir biçimde saptanabilmektedir.

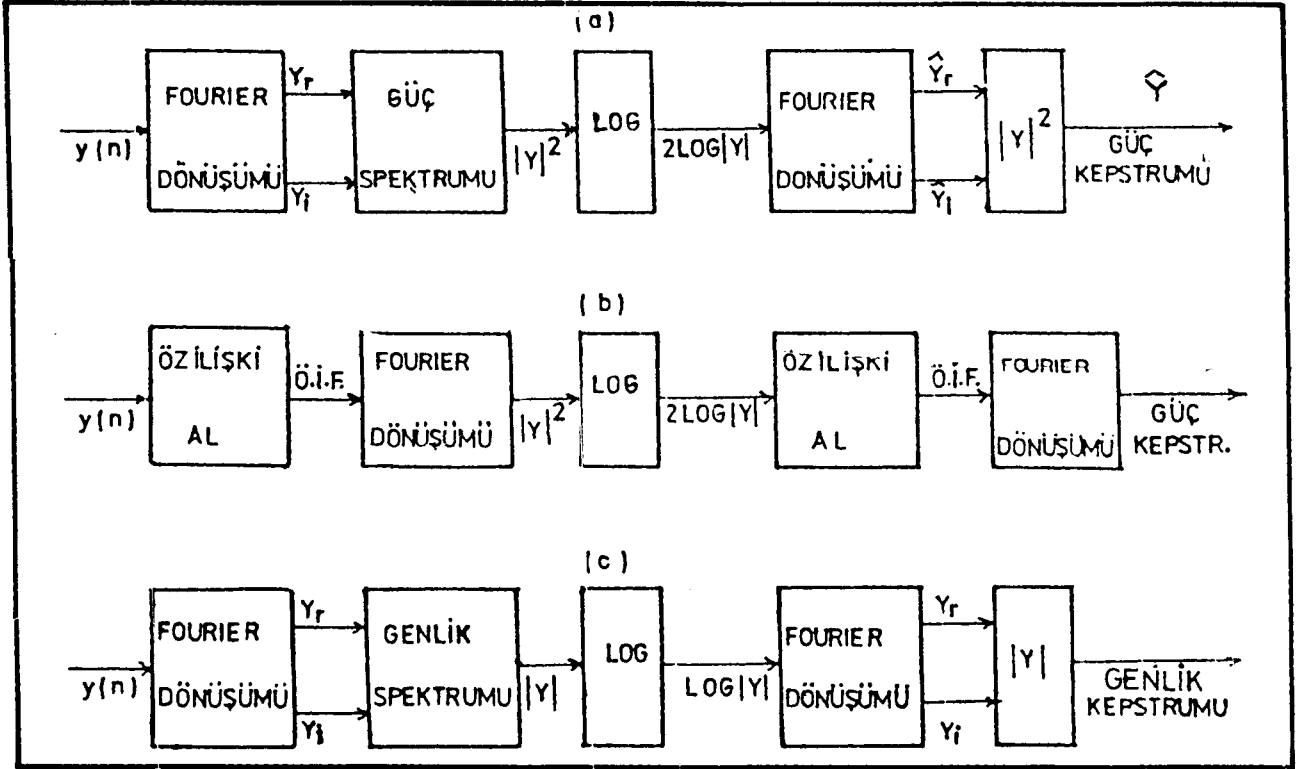
Dikkatimizi çeken bir husus, yansıma katsayısı küçüldükçe güç keprstrumundaki piklerin genliklerinin de küçülmekte oluşudur. Ancak bu durum gecikme zamanının saptanmasına engel değildir.

İlk gelen olay olarak gerçek sismik olaylara mümkün merteye benzeyen daha karmaşık bir dalgacık seçilebilir. Bunun için Somerville ve diğerleri (1976)'nin tele-sismik olaylar için önerdiği, kaynak, soğurucu ve sismograf etkilerinin konvolüsyonundan oluşan

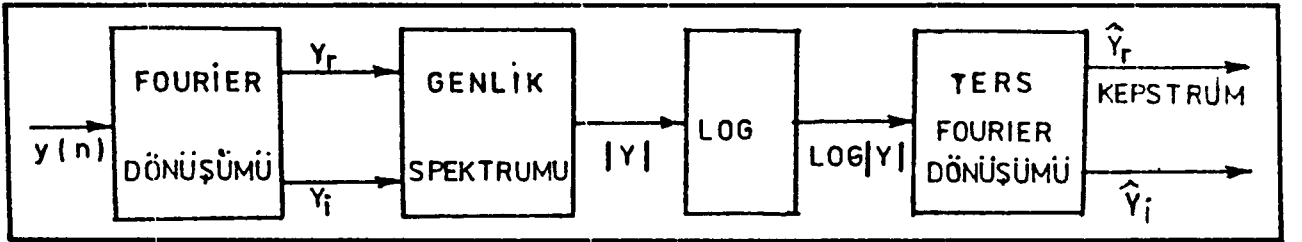
$$x(t) = w(t) * a(t) * s(t) \quad (13)$$

şeklindeki karışık gecikmeli bir dalgacık ilk olay olarak alınmıştır (Şekil 8-9).

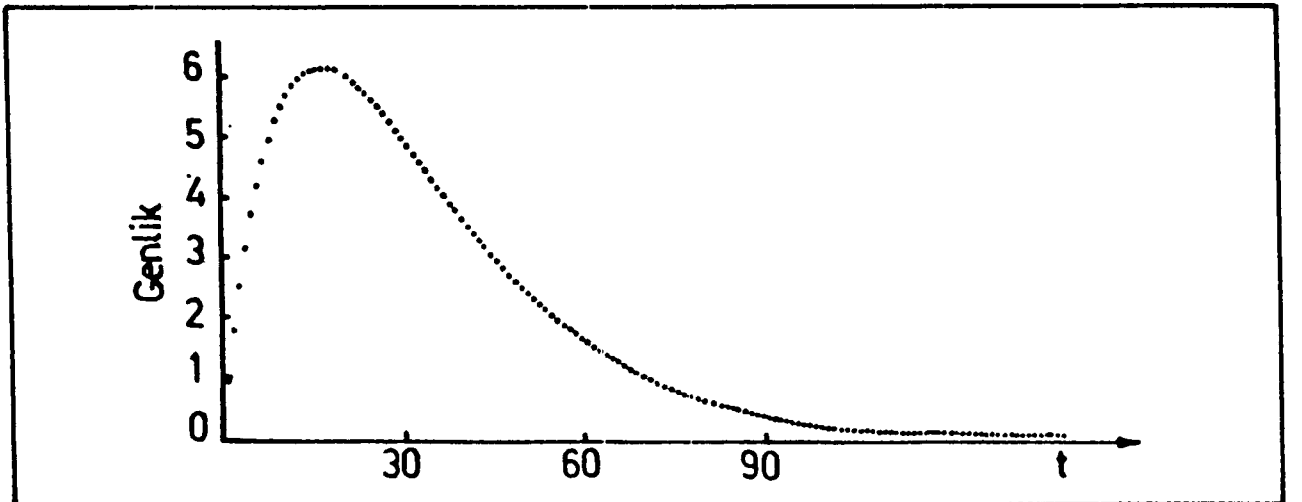
Bu açıklamaların ışığı altında Şekil 9'daki dalgacık esas alınarak genlik oranları Somerville ve diğerleri (1976)'da verilen Tablo 4'den yararlanılarak hazırlanan çeşitli tür dalgacıklar yapay veri üretiminde ilk gelen olay olarak ele alınmıştır. Farklı gecikme zamanı ve yansıma katsayıları için elde edilen yapay veriler ve güç keprstrumları (Şekil 10-15)'de görülmektedir. Şekil 14 ve 15 dikkatle incelenirse bu şartlarda yansıma zamanının



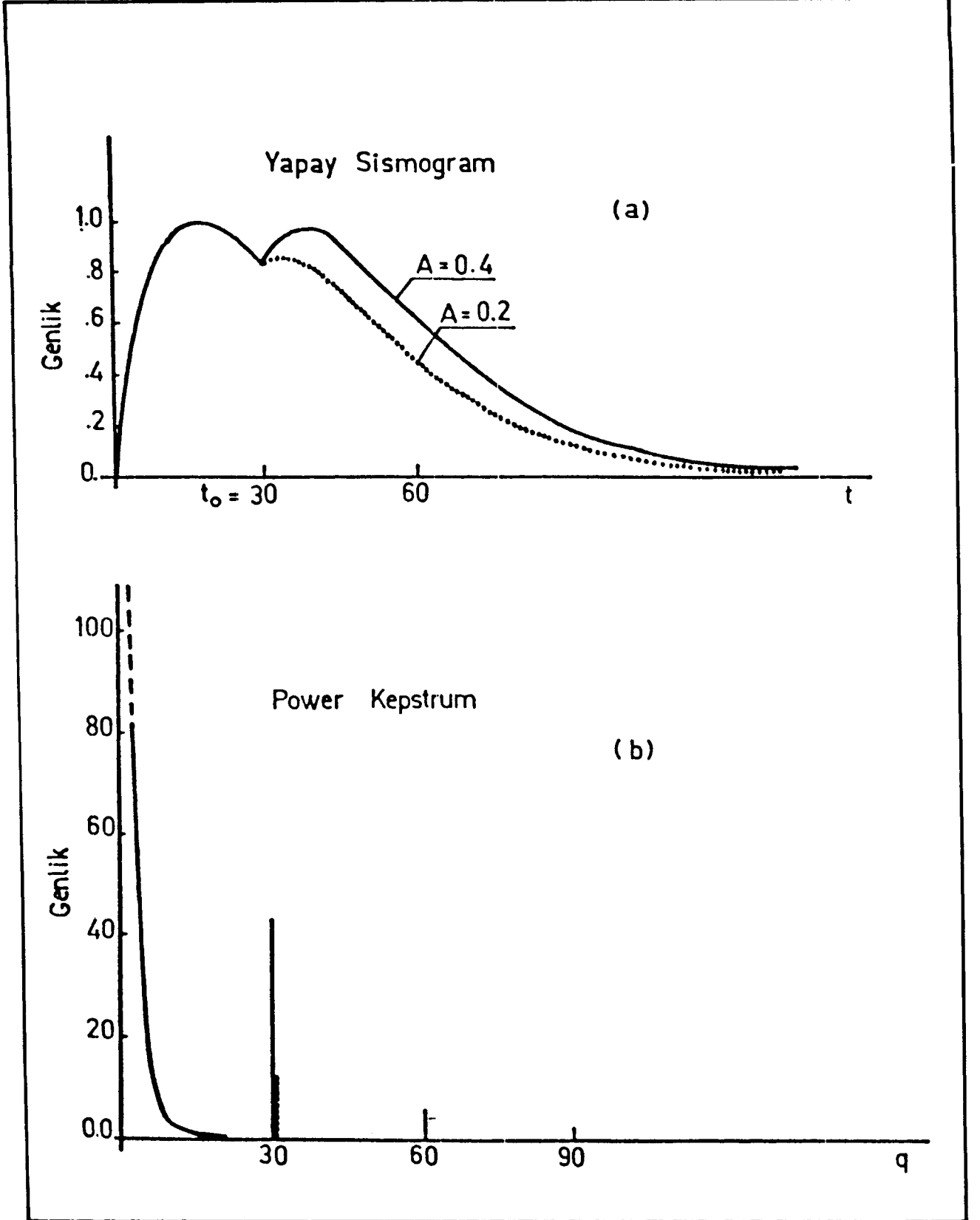
Şekil 2. Güç kepstrumu analizinin blok diyagramı.
Fig. 2. Block diagram of the power cepstrum analysis.



Şekil 3. Kepstrum analizinin blok diyagramı.
Fig. 3. Block diagram of the cepstrum analysis.

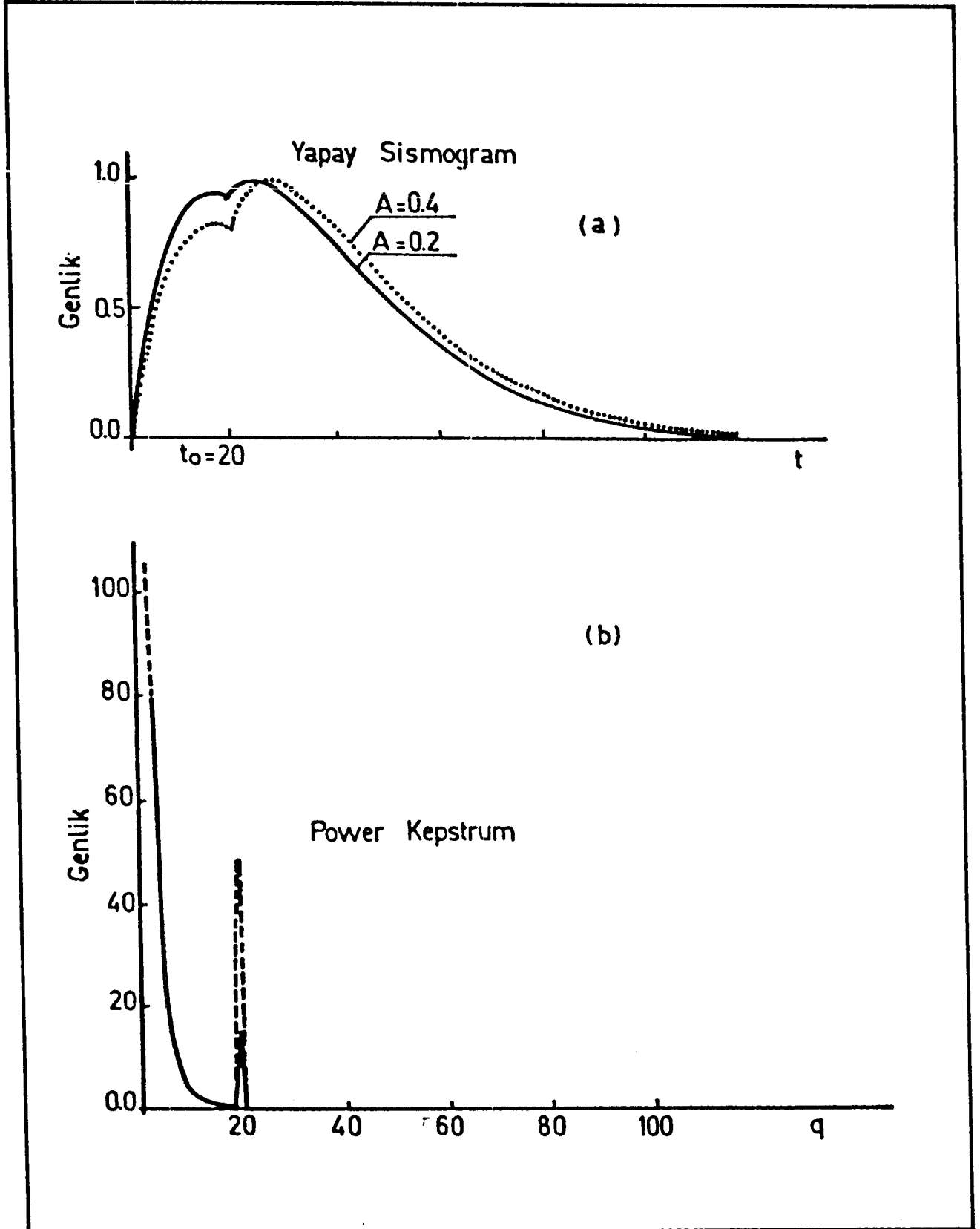


Şekil 4. İlk gelen olay
Fig. 4. First arrival event.

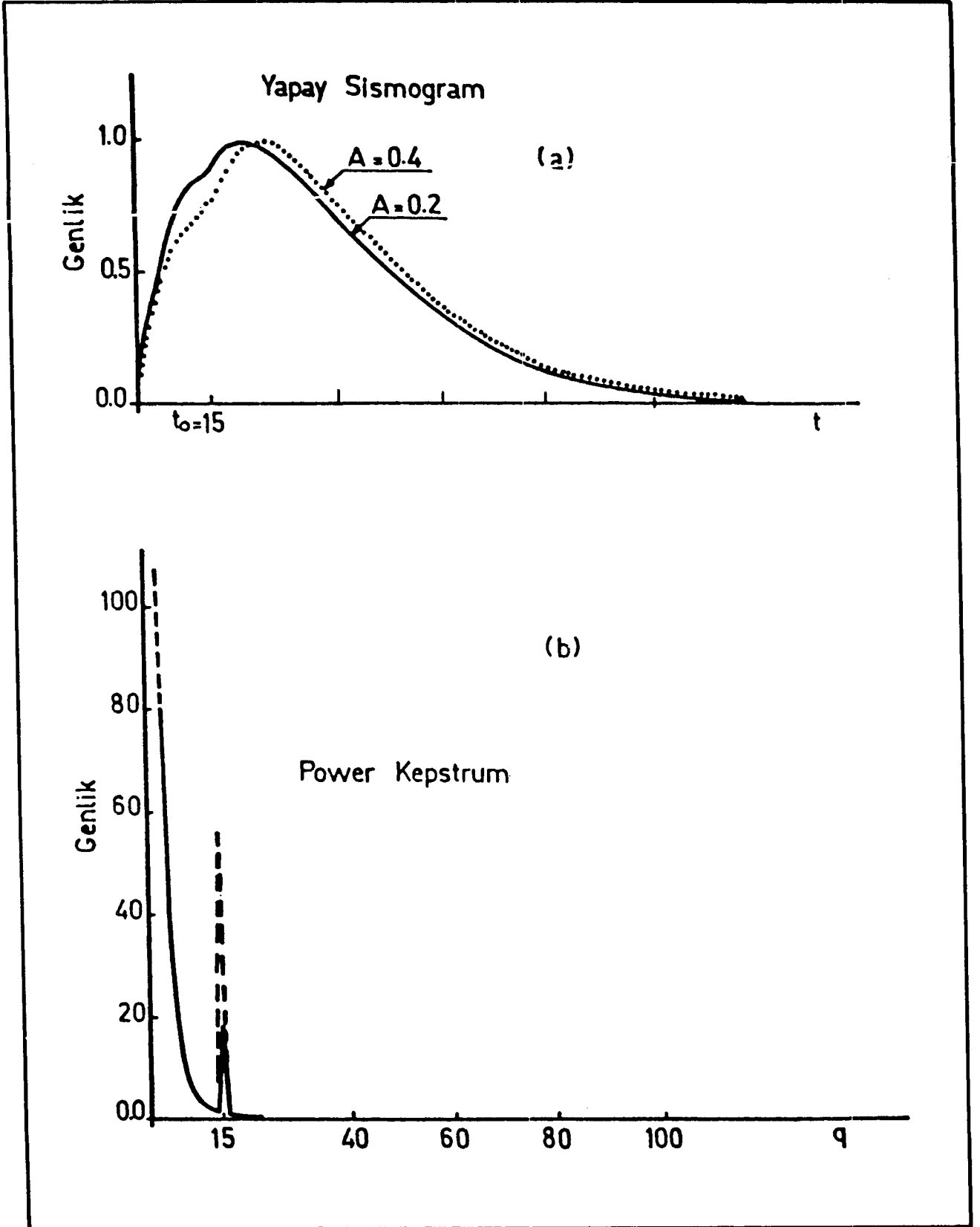


Şekil 5(a). Yansıma zamanı $t_0 = 30$ yansıma katsayısı $A = 0.4$ ve $A = 0.2$ için yapay sismogramlar;
 (b). güç kepstrumları

Fig. 5(a). Synthetic seismograms for reflection time $t_0 = 30$, reflection coefficient $A = 0.4$ and $A = 0.2$.
 (b). Power cepstrum of the seismograms.



Şekil 6(a) Yansıma zamanı $t_0 = 20$ yansıma katsayısı $A = 0.4$ ve $A = 0.2$ için yapay sismogramlar;
 (b) güç kepstrumları
 Fig. 6(a) Synthetic seismograms for reflection time $t_0 = 20$, reflection coefficient $A = 0.4$ and 0.2 .
 (b) their power cepstrum.



Şekil 7(a) Yansıma zamanı $t_0 = 15$ yansıma katsayısı: $A = 0.4$ ve $A = 0.2$ için yapay sismogramlar;
 (b) güç cepstrumları
 Fig. 7(a) Synthetic seismograms for reflection time $t_0 = 15$, reflection coefficient $A = 0.4$ and 0.2 .
 (b) their power cepstrum.

doğrudan saptanmasının mümkün olmadığı görülür. Ancak ileride tartışılacak şartlarda yansıma zamanı saptanabilmektedir.

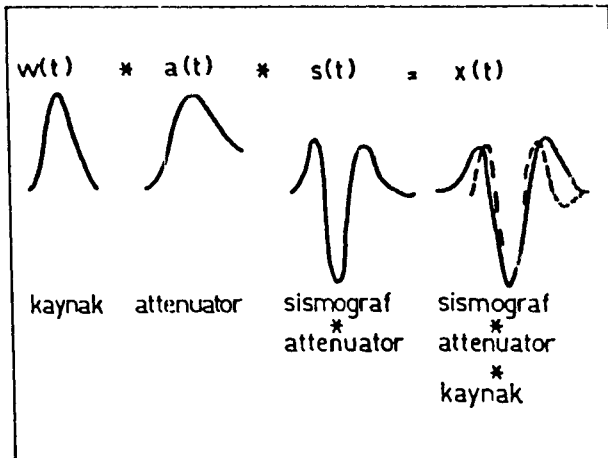
Çeşitli yansıma zamanları ve 0.4 ile 0.2 arasında değişen yansıma katsayıları için elde edilen dalgacıkların güç kepstromlarına bakılırsa sonucun fevkalade olduğu görülür (Şekil 16-19).

SONUÇ VE TARTIŞMA

İlk gelen olay Şekil 4'deki biçimde (yani $t e^{-at}$) ise yansıma katsayısı ve yansıma zamanı ne olursa olsun yansıma zamanı saptanabilmektedir.

Şekil 9'dakine benzer, $DT.N^*$ boyunda bir dalgacık ilk gelen olay kabul edilirse, yansıma katsayısı ne olursa olsun $DT.N/2$ 'ye kadar olan gecikmeleri diğer bir deyişle yansıma zamanlarını kesinlikle saptayabilmekteyiz. Şayet yansıma katsayısı yeteri kadar büyük değil ve yansıma zamanı t_0 'da $(DT.N)/2$ 'den küçükse, yankıların geliş zamanlarının saptanması güç, ancak imkansız değildir. Bu gibi durumlarda çeşitli yollar önerilebilir. Örneğin yansıyıp gelen dalganın güç kepstromuna etkisi, yansıma zamanı ve kollarına tekabül eden "quefrensy*"lerde genlikleri gittikçe küçülen pikler şeklindedir. Eğer birinci pik ilk olayın içerisinde kaybolmuşsa, tekrarlanan diğer pikler yardımıyla yansıma zamanını saptamak olasıdır (Şekil 1). Tekrarlanan bu piklerin genlikleri kepstrom ortamında bir artı bir eksi şeklinde olacağından güç kepstromu yerine yalnız kepstromun alınması tekrarların, ikinci veya daha sonraki yankıların ilk pikleri ile ayırt edilmesinde bize yardımcı olurlar (Şekil 20):

Bir diğer usul de ilk gelen olayı Şekil 4'dekine benzer hale, yani analitik olarak $t \cdot e^{-at}$ ($0 < a < 1$) şekline dönüştürmektir. Şöyle ki; (12) ile verilen sismik izde ilk gelen $x(t)$ olayı yerine (13)'deki değeri yazılır:



Şekil 8. İlk olaya katkısı bulunan etkenler.
Fig. 8. The components of first event.

$$y(t) = w(t) * a(t) * s(t) * \underbrace{(1, 0, \dots, 0, A)}_{t_0 = 1}$$

ve her iki tarafın Fourier dönüşümü alınır,

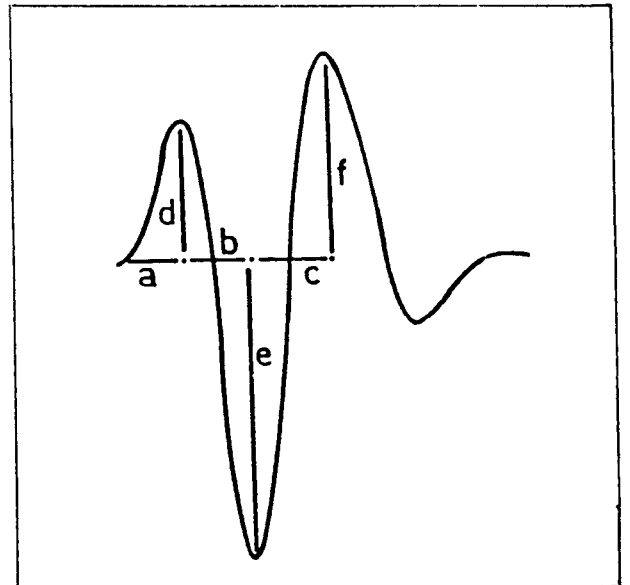
$$Y(f) = W(f) \cdot A(f) \cdot S(f) \cdot (1, 0, \dots, 0, A)$$

elde edilir. Sismograf etkisi $s(t)$ analitik olarak bilindiği için $S(f)$ 'yi hesaplamak kolaydır. Yakın depremlerde $a(t)$ sabit ve bir doğru biçiminde alınabileceğine göre bunun Fourier dönüşümü de yine bir sabit olacaktır. $Y(f)$, $S(f)$ ile bölüldükten sonra güç spektrumu ortamına geçilirse problemin çözülebilirliği artırılmış olacaktır.

İlk gelen olay ile ilk yansımanın ayrılabilirliği için yukarıda değinilen sınırlamalara karşın, şayet, girişim olayı ilk yankı ve daha sonrakiler arasında vukuu bulmuşsa sistem fevkalade sonuç vermiştir (Şekil 16,19).

Yansıma zamanının saptanamadığı durumlarda ilk gelen olay ve yapay sismogramın genlik spektrumları incelendiğinde (Şekil 21) t_0 'a karşılık gelen veya daha küçük frekanslarda, asal olayın spektrumunun genliği yapay sismogramın spektrumunun genliklerinden daha büyük değerler almaktadır. Şekil 21'de görüldüğü üzere, okla işaretlenen eşit veya daha küçük frekanslara karşılık gelen gecikme zamanlarını doğrudan saptamak olası değildir. Sınama-yanıma yoluyla bu sonuca varılmıştır. Ayırma probleminin bulunmadığı bir yapay iz ve tekabül eden ilk olayın genlik spektrumları Şekil 22'de görülmektedir.

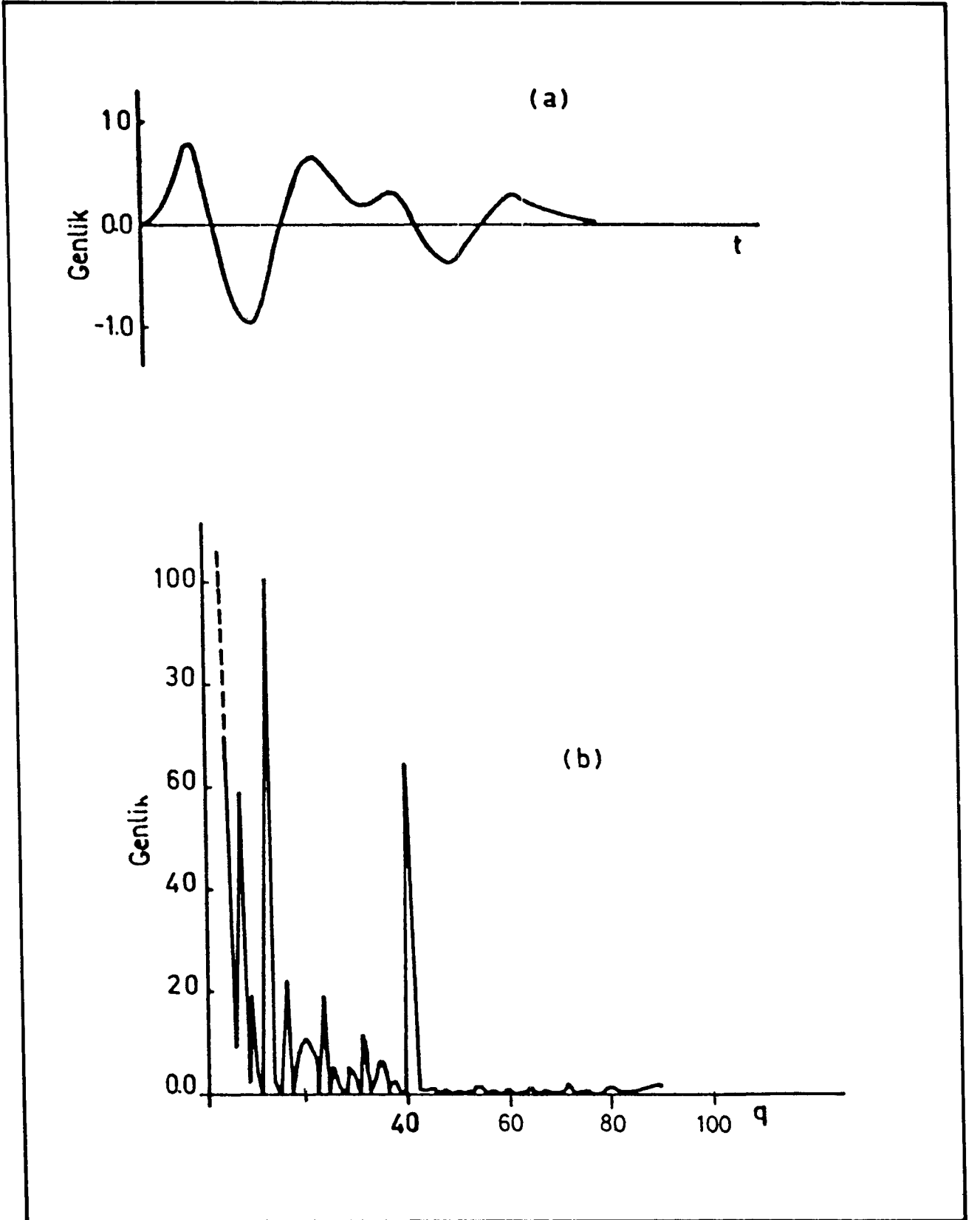
Girişim olayının çözümü, yansıma zamanı ve yansıma katsayısının büyüklüğüne bağlıdır. Ayırıcılık yansıma katsayısına kıyasla yansıma zamanından daha çok etkilenmektedir.



Şekil 9. İlk olay.
Fig. 9. First event.

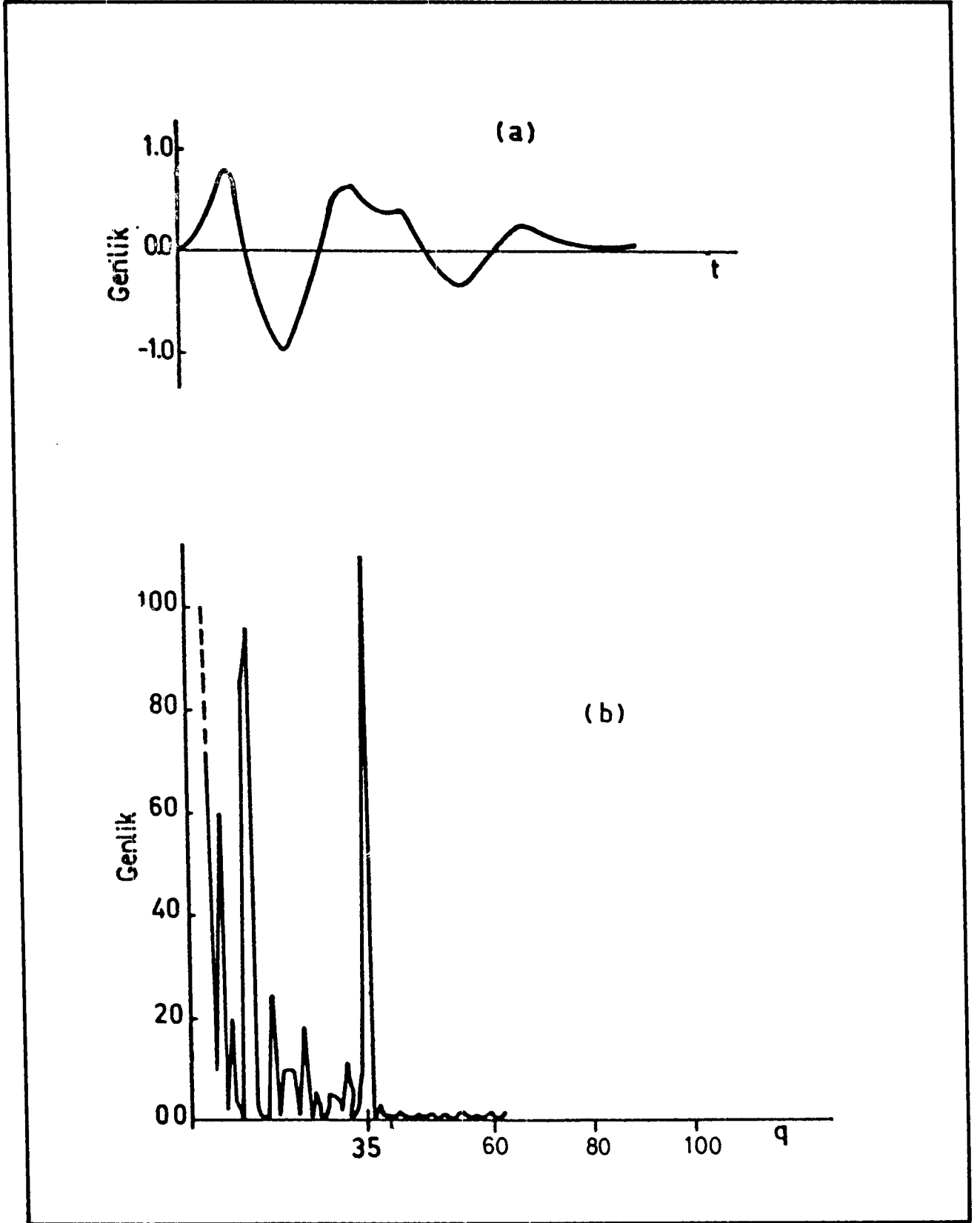
* DT, örnekleme aralığı ve N örnek sayısı

* Quefrensy, gamnitude, sephe, sırasıyla, frequency, magnitude (veya amplitude) ve phase kavramlarının kepstrom ortamındaki karşılıklarıdır.



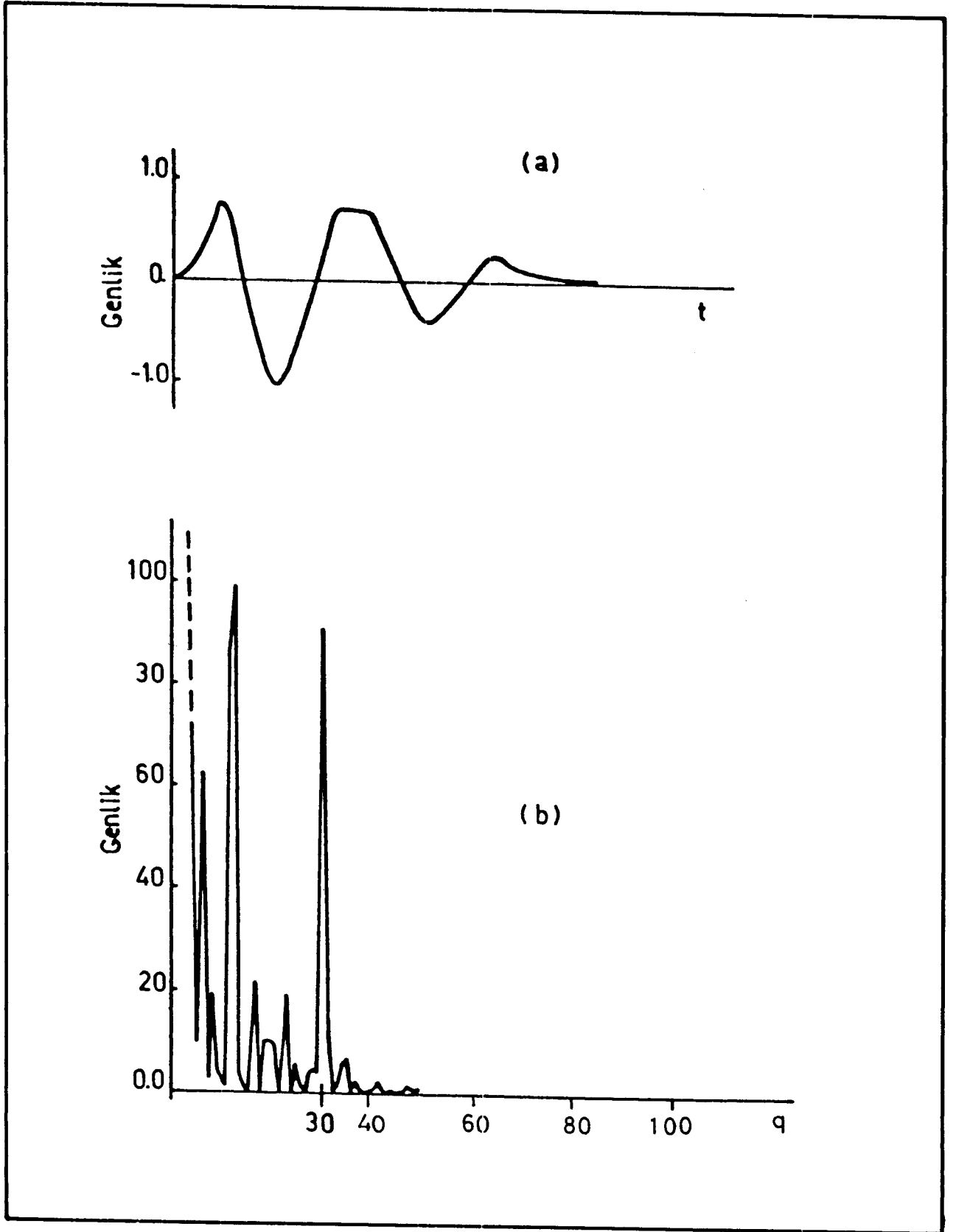
Şekil 10(a) Yansımaya zamanı $t_0 = 40$ yansımaya katsayısı $A = 0.4$ için yapay sismogram;
(b) güç cepstrumu.

Fig. 10(a) Synthetic seismogram for reflection time $t_0 = 40$, reflection coefficient $A = 0.4$.
(b) Its power cepstrum.



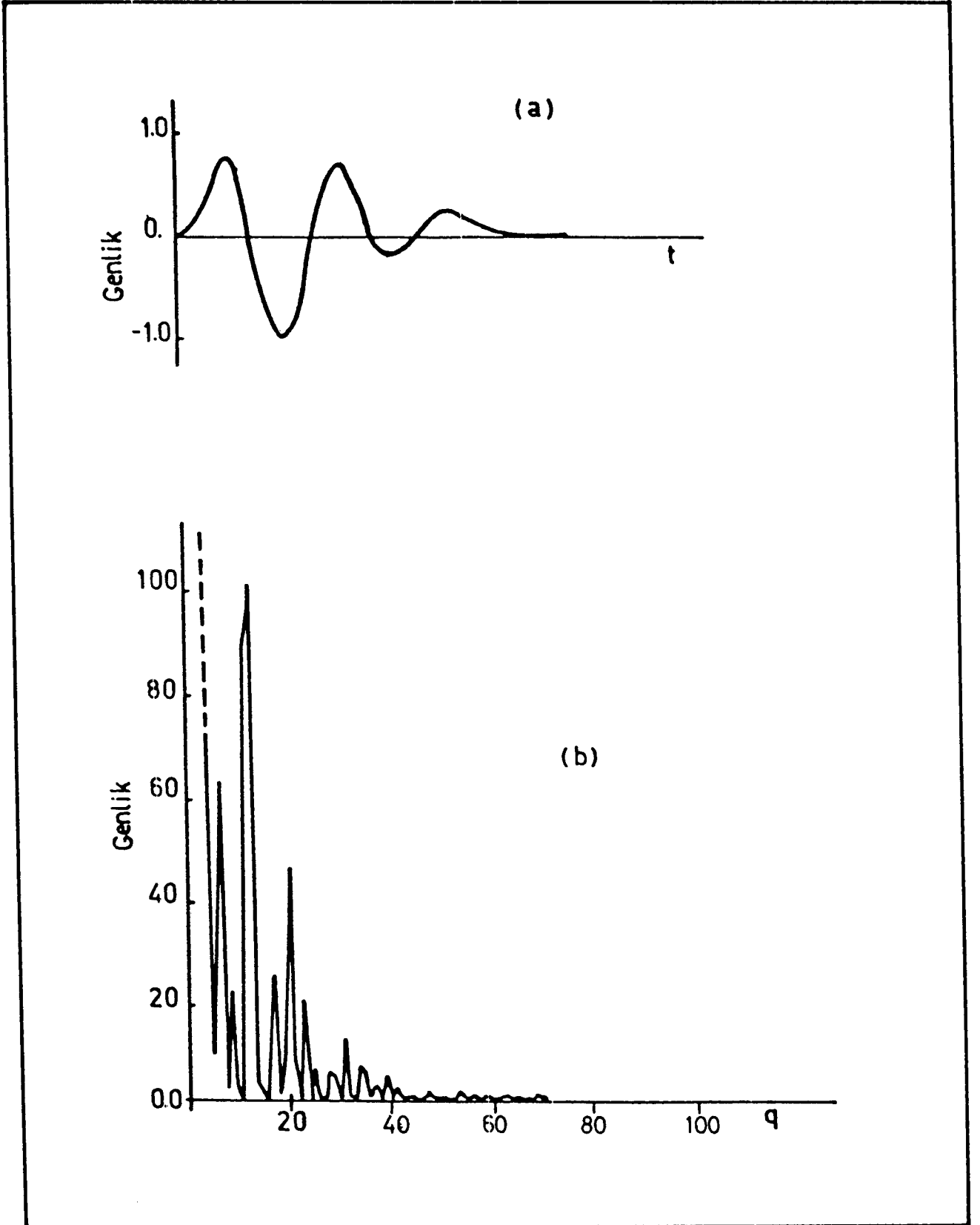
Şekil 11(a) Yansıma zamanı $t_0 = 35$ yansıma katsayısı $A = 0.35$ için yapay sismogram;
 (b) güç cepstrumu.

Fig. 11(a) Synthetic seismograms for reflection time $t_0 = 35$, reflection coefficient $A = 0.35$.
 (b) Its power cepstrum.



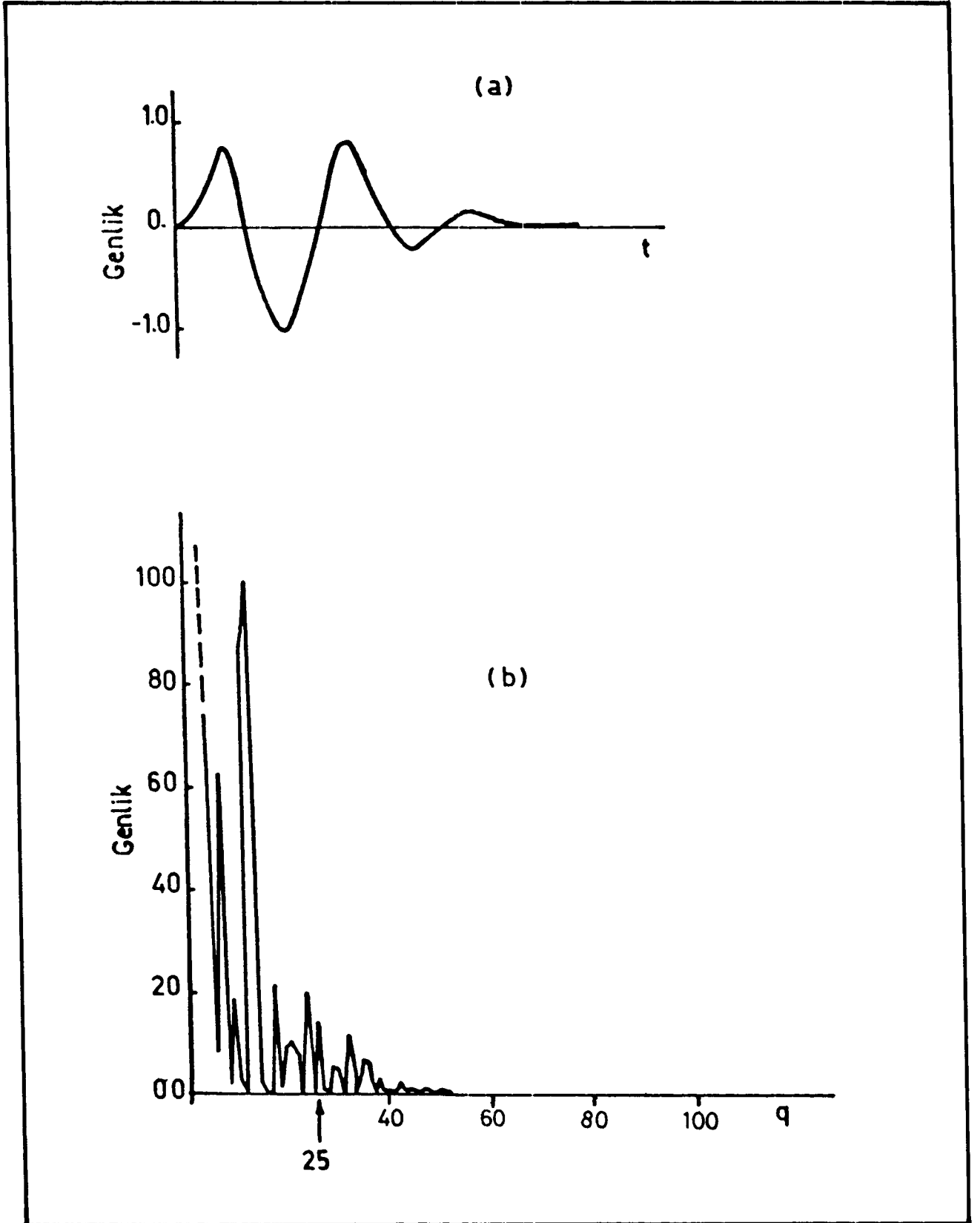
Şekil 12(a) Yansıma zamanı $t_0 = 30$ yansıma katsayısı $A = 0.4$ için yapay sismogram;
 (b) güç cepstrumu.

Fig. 12(a) Synthetic seismogram for reflection time $t_0 = 30$, reflection coefficient $A = 0.4$.
 (b) Its power cepstrum.



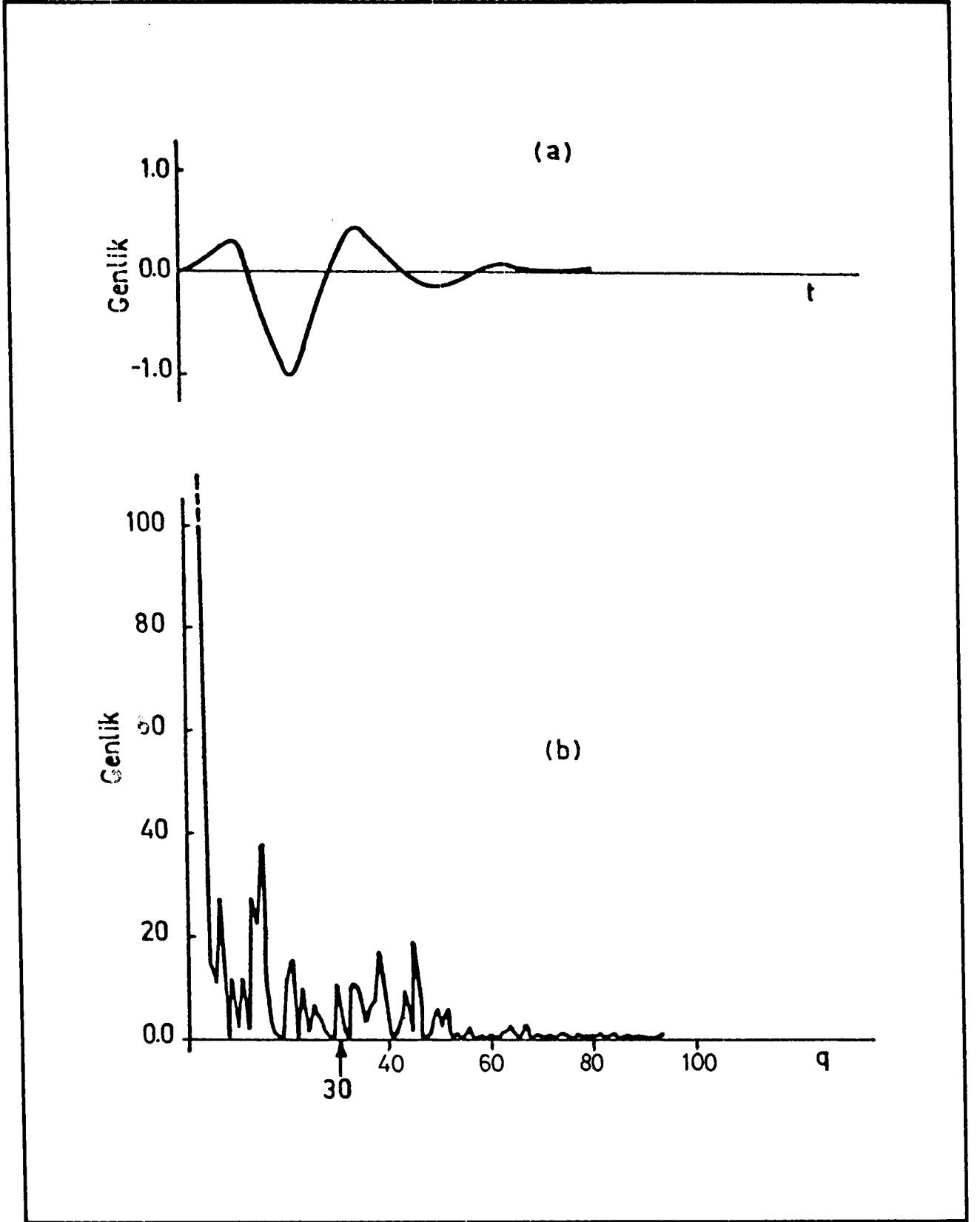
Şekil 13(a) Yansıma zamanı $t_0 = 20$ yansıma katsayısı $A = 0.4$ için yapay sismogram;
 (b) güç cepstrumu.

Fig. 13(a) Synthetic seismograms for reflection time $t_0 = 20$, reflection coefficient $A = 0.4$.
 (b) Its power cepstrum.



Şekil 14(a) Yansıma zamanı $t_0 = 25$ yansıma katsayısı $A = 0.25$ için yapay sismogram;
 (b) güç cepstrumu.

Fig. 14(a) Synthetic seismograms for reflection time $t_0 = 25$, reflection coefficient $A = 0.25$.
 (b) Its power cepstrum.

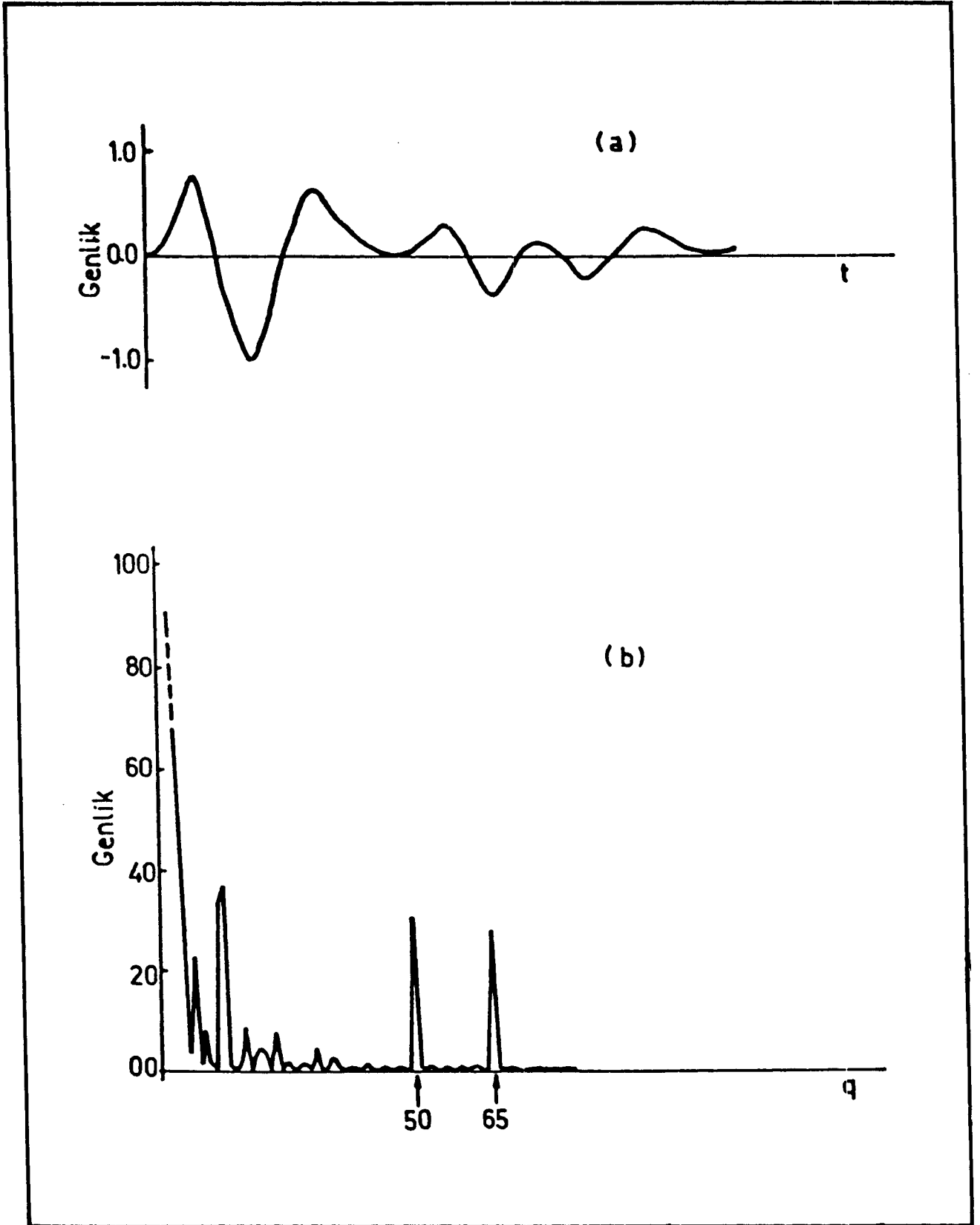


Şekil 15(a) Yansıma zamanı $t_0 = 30$ yansıma katsayısı $A = 0.15$ için yapay sismogram;

(b) güç cepstrumu.

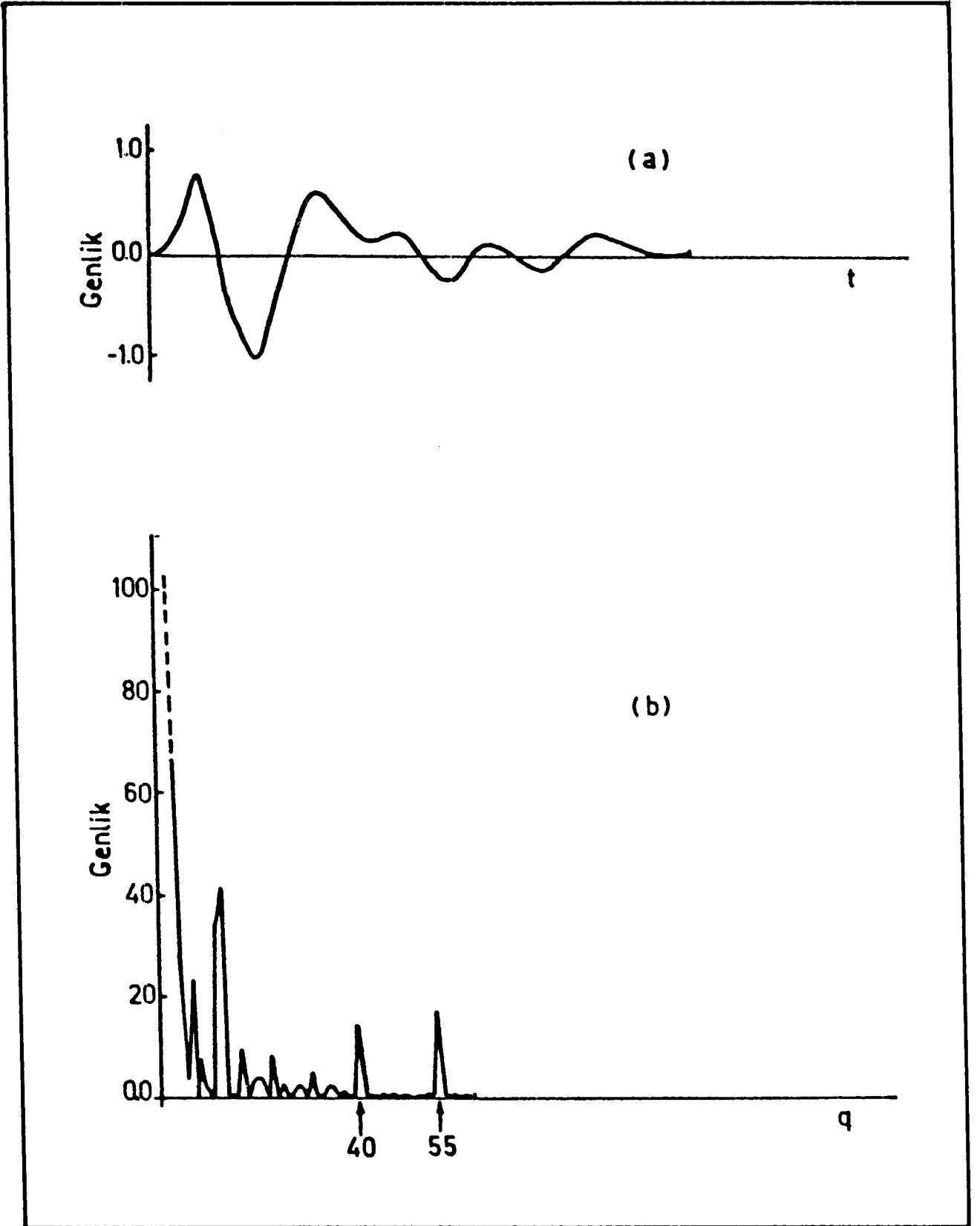
Fig. 15(a) Synthetic seismograms for reflection time $t_0 = 30$, reflection coefficient $A = 0.15$.

(b) Its power cepstrum.



Şekil 16(a) Yansıma zamanları $t_0 = 50$, $t_1 = 65$ yansıma katsayısı $A = 0.4$ için yapay sismogram;
(b) güç cepstrumu.

Fig. 16(a) Synthetic seismogram for reflection time $t_0 = 50$, $t_1 = 65$, reflection coefficient $A = 0.4$.
(b) Its power cepstrum.

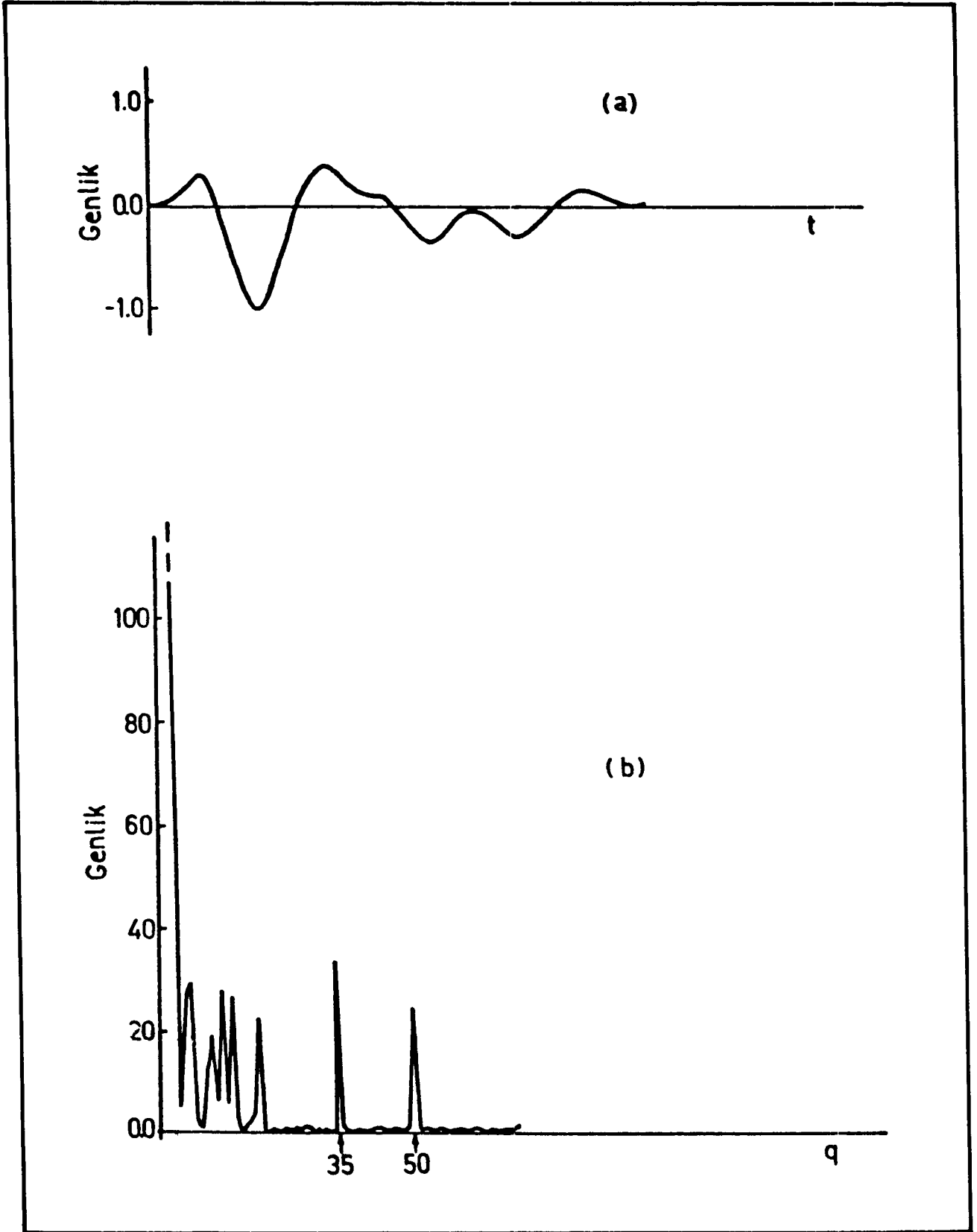


Şekil 17(a) Yansıma zamanları $t_0 = 40$, $t_1 = 55$ yansıma katsayısı $A = 0.30$ için yapay sismogram;

(b) güç cepstrumu.

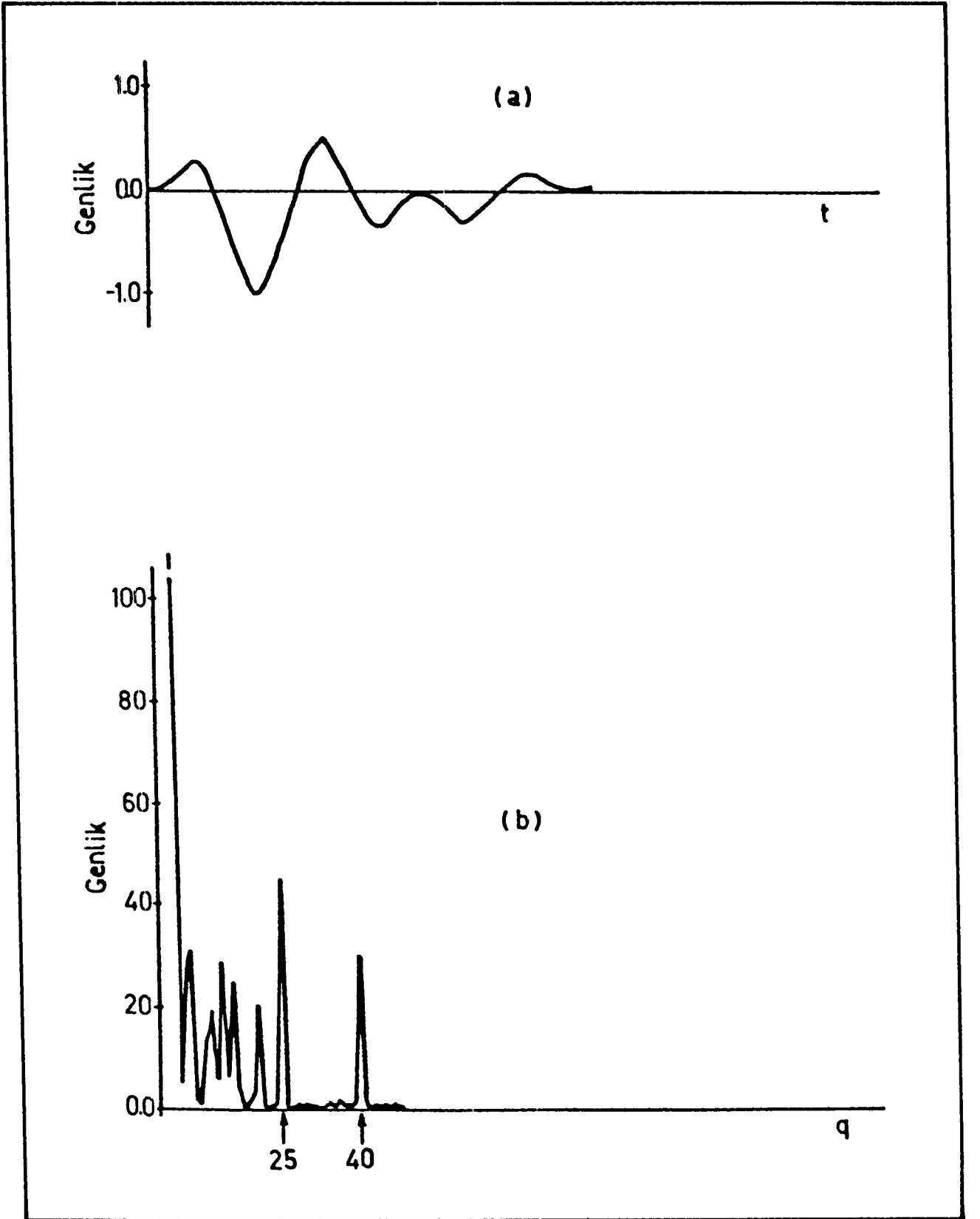
Fig. 17(a) Synthetic seismogram for reflection time $t_0 = 40$, $t_1 = 55$, reflection coefficient $A = 0.30$.

(b) Its power cepstrum.



Şekil 18(a) Yansıma zamanları $t_0 = 35, t_1 = 50$ yansıma katsayısı $A = 0.40$ için yapay sismogram;
 (b) güç cepstrumu.

Fig. 18(a) Synthetic seismogram for reflection time $t_0 = 35, t_1 = 50$, reflection coefficient $A = 0.4$.
 (b) Its power cepstrum.

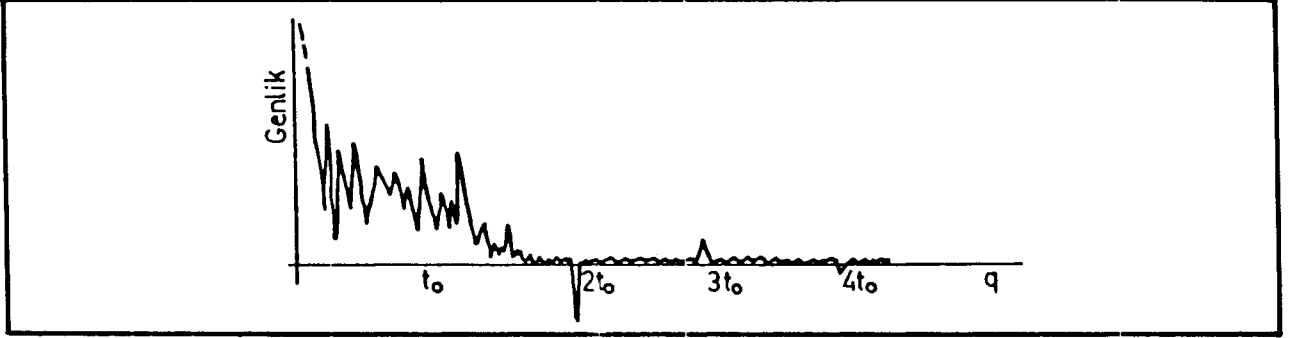


Şekil 19(a) Yansına zamanları $t_0 = 25$, $t_1 = 40$ yansına katsayısı $A = 0.4$ için yapay sismogram;

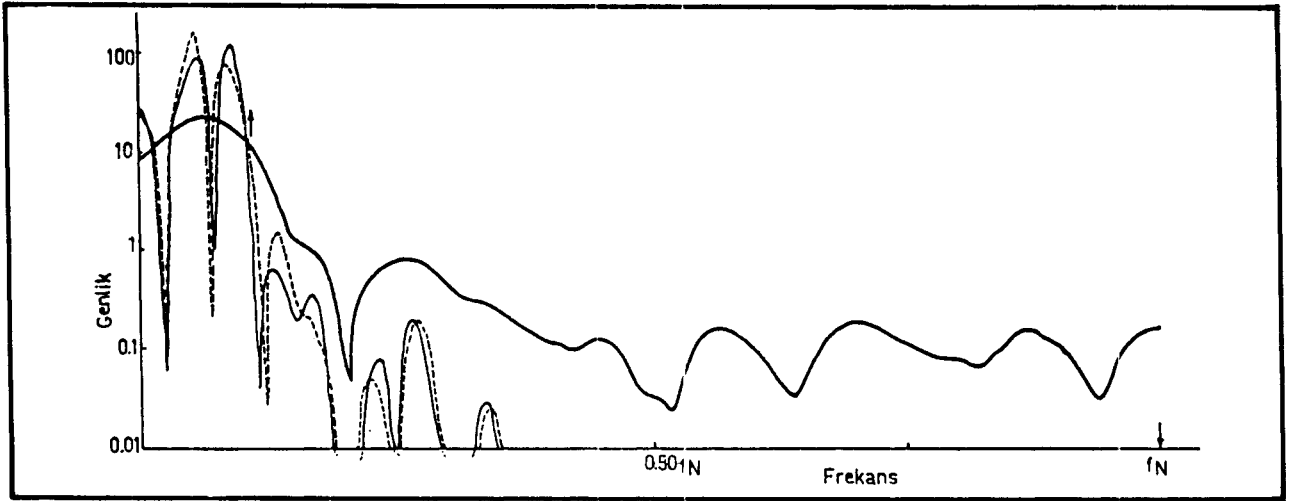
(b) güç cepstrumu.

Fig. 19(a) Synthetic seismogram for reflection time $t_0 = 25$, $t_1 = 40$, reflection coefficient $A = 0.4$.

(b) Its power cepstrum.

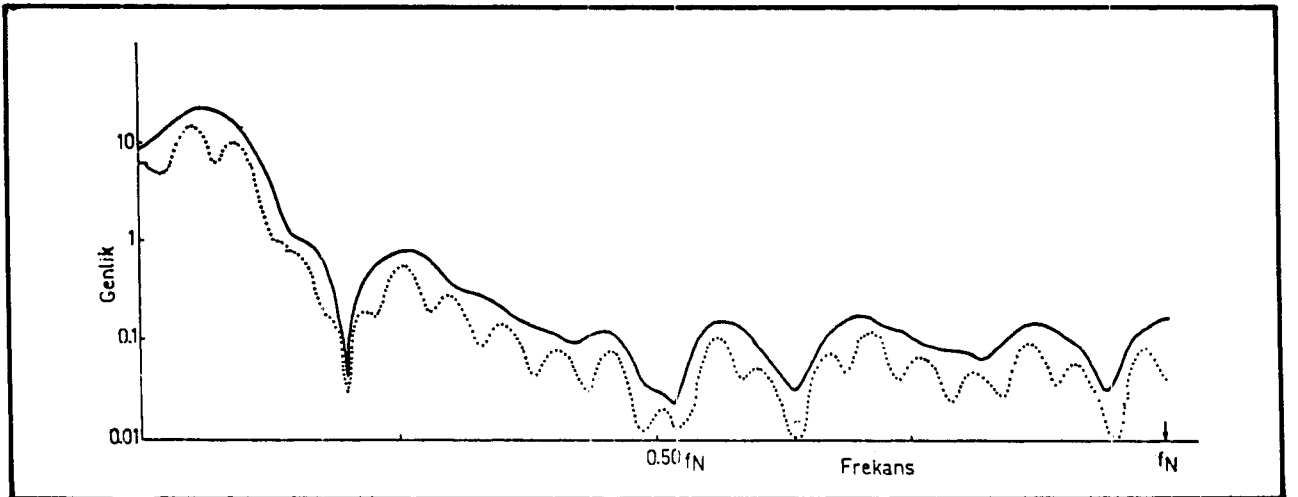


Şekil 20. Kepstrum ortamında tekrarlanan pikler.
Fig. 20. repeated peaks at the cepstrum.



Şekil 21. İlk gelen olay (sürekli kalın çizgi). Yansımaya zamanı $t_0 = 30$, yansımaya katsayısı $A = 0.15$ olan (sürekli ince çizgi) ve yansımaya zamanı $t_0 = 25$ yansımaya katsayısı $A = 0.25$ olan (kesikli çizgi) yapay sismogramların genlik spektrumları. Görüldüğü gibi böyle bir ilk gelen olayda yaklaşık $t_0 = 30$ için yansımaya zamanlarını saptamak güçleşmektedir.

Fig. 21. Amplitude spectra of synthetic seismograms of incident waves (dark solid line) and two reflected waves: 1) Reflection time $t_0 = 30$ units and reflection coefficient $A = 0.15$ (solid thin line); 2) Reflection time $t_0 = 25$ units and reflection coefficient $A = 0.25$ (dashed line).



Şekil 22. İlk gelen olay (sürekli kalın çizgi) ve yansımaya zamanı $t_0 = 40$, yansımaya katsayısı $A = 0.4$ olan yapay sismogramın genlik spektrumu.

Fig. 22. Amplitude spectra of incident wave (solid line) and the reflected wave ($t_0 = 40$ units and $A = 0.4$; dashed line).

KAYNAKLAR

- Bogert, B.P., Healy, M.J.R and Tukey J.W 1963, The quefrency analysis of time series for echoes: Cepstrum, pseudoautocovariance, cross-cepstrum and saphe cracking, Proc.Symp. Time Series Analysis, John Wiley Sons, Inc., New York, pp. 209-243.
- Kanasewich, E.R. 1972, Time Sequence Analysis in Geophysics, The Universtiy of Alberta Press, pp. 110-113.
- Kemerait, R.C., Childers D.G., 1972, Signal detection and extraction by cepstrum techniques, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. IT-18, No. 6, pp. 745-759.
- Oppenheim, A.V., Schafer R.W., 1975 Digital Signal Pracesing, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Robinson, E.A. 1954, Predictive Decomposition of Time Series with Applications to Seismic Exploration, Ph.D Thesis, MIT, Cambridge, Mass.
- Silvia, M.T., Robinson E.A., 1978, Use of the cepstrum in signal analysis, Geoexploration 16. 55-73.
- Schafer, R.W. 1969, Echo Removal by Discrete Generalized Linear Filtering, Res. Lab. Electron. MIT, Tech. Rep., 466 p. p.
- Somerwille Paul G., Wiggins R.A. ve Ellis R.M. 1976. Time-domain determination of earthquake fault parameters from short-period P-waves, Bull. Seismol. Soc. Amer. 66, 1459-1484.
- Tribolet J.M. 1978, Applications of short-time homomorphic signal analysis to seismic wavelet estimation, Geoexploration 16, 75-96.