

# ZAMAN VE FREKANSA BAĞLI OLARAK $Q_C$ DEĞİŞİM ANALİZİ VE UYGULAMALARI

## Analysis of $q_c$ as a Variation of Frequency and Lapse-Time and its Applications

Aybige AKINCI \*, A: Güngör TAKTAK\*

### ÖZET

Son yıllarda yapılan çalışmalar göstermiştir ki bir bölgenin soğurulma yapısı hakkında en iyi sonucu koda dalgaları vermektedir. Koda'nın oluşum mekanizması üzerine ilk çalışma Aki, 1969; Aki&Chouet, 1975 tarafından gerçekleştirilmiş ve yine Aki, 1980 tarafından Koda'nın oluşumu üzerine birkaç model (tek saçılma ve difraksiyon modeli) geliştirilmiştir. Bunların içinden tek saçılma modeli günümüze değin bir çok araştırmacı tarafından yaygın bir şekilde kullanılmış ve halen kullanılmaktadır, New England, Pulli (1984); Italy, Del Pezzo and Scarcella 1983, 1986); Washington State, Haskov ve diğ. (1989); Southern Spain, Ibanez (1990); Western Anatolia, Akıncı ve diğ. (1994), Akıncı (1994). Tek saçılma modeline göre analiz edilen  $Q_C$  değerleri frekansın fonksiyonu,  $Q_C(f)=Q_0 f^n$  şeklinde ve aynı zamanda  $t_c$  kesme zamanına (Lapse-time) bağlı olarak değişim gösterir. Bu çalışmada  $Q_C$ ' nun frekans ve zamana bağımlılığının nedenleri ve önemi irdelenmeye çalışılmıştır.

### ABSTRACT

Since 1975, coda waves have been proposed to be useful tool to evaluate regional Q, joining the more conventional methods based on body waves, surface waves and free oscillations of the earth. Two models have been proposed by Aki and Chouet (1975) to explain the characteristic of coda waves. The first one is the weak or single scattering model and the second one is the very strong scattering or diffraction model. Single scattering model has been widely used since 1978, because of its simplicity and easy application to estimate of attenuation and scattering parameters in the crust and upper mantle in many different regions, New England, Pulli (1984), Italy, Del Pezzo and Scarcella (1983, 1986); Washington State, Haskov at all (1989); Southern Spain, Ibanez (1990), Western Anatolia, Akıncı at all (1994), Akıncı (1994). According to the single scattering model, analyzed  $Q_C$  values change with frequency and lapse time. In this paper, cause and importance of frequency and lapse time dependence of were  $Q_C$  investigated.

### GİRİŞ

Bir bölgenin sismotektonik özelliklerinin araştırılmasında sismik ortamın hız yapısı ve soğurulma çalışmaları esas ve temeldir. Son yıllarda bölgelerin sismik soğurulma özellikleri ve kalite faktörü Q, koda methodu kullanılarak elde edilmektedir. Bu method, heterojen bir ortamdan saçınmış koda dalgalarının özelliklerine dayalıdır (Aki 1969).

Koda dalgaları gelişigüzel bir işlemin sonucu olması nedeni ile kaynak etkileri yerine, ışın üzerinde ortamın etkilerini yansıtır. Aki ve Chouet (1975) tarafından verilen koda methodu ile  $Q_C$  analizi basit ve kolay bir şekilde yapılmaktadır.

Günümüze değin birçok araştırmacı tarafından kullanılan bu method sonucunda ortaya çıkan önemli ortak sonuçlar şöyle sıralanabilir;

a)  $Q_C$  nun deprem büyüklüğüne ya da episantır mesafesine bağlı olmadığı,

b)  $Q_C$  değerlerinin,  $Q_S$  yada  $Q_{Lg}$  değerleri ile karşılaştırılabilir olduğu,

c)  $Q_C$ ' nun frekans bağımlı olduğu,

$$Q_C = Q_0 f^n, \quad 0 < n < 1.2 \quad (1)$$

d)  $Q_C$  değerlerinin koda kesme zaman pencere uzunluğuna bağlı olduğudur. (a) ve (b)'deki olaylar Aki (1969) ve Aki Chouet (1975) ile açıklanabilmesine karşın frekans bağımlılığının orjini hakkında ortak bir anlaşma ve açıklama henüz yoktur. Aki ve Chouet (1975) bu olayı, farklı derinliklerden farklı frekanslarda saçılmış dalgaların oluşumu ile açıklamaya çalışmışlardır. Danity (1981) tarafından ortamın heterojenitesi ve tektonik aktivitesi ile  $Q_C$ ' nun frekans bağımlılığı arasında bir ilişkinin varlığını önesüren hipotez ise Aki (1980), Roecker ve diğ. (1982), Sing ve Hearman (1983), Rhea (1984) ve Pulli (1984) tarafından desteklenmiştir.

\* Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü, 35100 Bornova-Izmir.

$Q_C$ 'nin kesme zamanına bağımlılığı,  $Q_C(f=1\text{Hz})$ 'ın  $t_c$  kesme zamanı ile arttığı ise Roecker ve diğ. (1982), Pulli (1984) tarafından New England ve Afganistan bölgelerinde, Rautian ve Khalturin (1978) tarafından Orta Asya'da ilk kez gözlenmiştir. Buna ilave olarak yine araştırmacılar tarafından frekans bağımlılık derecesi  $n$ 'nin zamana bağlı olduğu yani kesme zamanı arttıkça düştük  $n$  değerleri elde edildiği gözlenmiştir.  $Q_C$ 'nin zamanla artışı yine Rovelli (1984), Montenegro (Yugoslavya), Haskov ve diğ. (1989) Washington State ve Kvamme ve Haskov (1989) tarafından güney Norveç bölgelerinde gözlenmiştir. Ayrıca koda  $Q_C$ 'nin geniş bir zaman içindeki değişiminin sürekli olarak incelenmesi depremleri önceden kestirme çalışmalarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Jin ve Aki (1986)'da 3 yıl boyunca analiz edilen koda  $Q_C$  değerlerinin bu zaman içinde oluşan iki büyük depremden önce oldukça düşük bir değer aldığını ve bölgede artan sismisite ile orantılı olarak azaldığını göstermişlerdir.

$Q_C$  ile  $t_c$  arasında bir ilişki gözlenmesine rağmen bu,  $Q_C$ 'nin frekans ile olan ilişkisi 1 nolu denklem gibi bir bağıntı ile verilememektedir. Ancak  $Q_C$ 'nin  $t_c$  ile olan ilişkisi ve değişimi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, bu değişime ne gibi faktörlerin etki edebileceği ve bu değişimin neden çok önemli olduğu konuları irdelenmeye çalışılmıştır.

#### Koda Q'nun zaman ve frekansa bağlı olarak değişimi

İlk kez koda dalgalarından sismik soğurulma ya da  $Q_C$  analizi, Aki ve Ghouet, (1975) Rautian ve Khalturin, (1978); Aki, (1980a,b) tarafından yapılmıştır. Sıfır kaynak-alıcı uzaklığı, ortamda homojen dağılım gösteren saçıcıların varlığına dayanan bu model daha sonra Kopnischev, (1975) ve Sato, (1977) ile geliştirilerek iki ve üç boyutlu durumlar ve sıfır olmayan kaynak-alıcı mesafesi için hesaplanmıştır. Roecker, (1982) Puffi, (1984); Gagnepain-Beyneix, (1987) ve Del Pezzo ve diğ., (1990); çalışmaları ile koda  $Q_C$ 'nin zaman ve frekans ile arttığı gözlenmiştir. Koda  $Q_C$ 'nin kesme zamanı  $t_c$  ile artmasına, aşağıda verilen olaylar neden olabilir;

- 1) Sıfır açılım olmayan kaynak-alıcı uzaklığında izotropik olmayan saçılım,
- 2) Sıfır olmayan kaynak-alıcı uzaklığında koda  $Q_C$  analizi için kullanılan modelin uygun seçilememesi,
- 3) Koda  $Q_C$  analizinde kullanılan iki ve üç boyutlu modellerin birbirlerinin yerine kullanılması,
- 4) Çoklu saçılma modelinin önemli olduğu yerlerde tek saçılma modelinin kullanılması,
- 5) Koda  $Q_C$ 'nin derinlik ile artması ,
- 6) Koda  $Q_C$ 'nin artan kaynak yada alıcı uzaklığı ile artmasıdır.

İnci etki, sıfır olmayan kaynak-alıcı uzaklığı için verilen bağıntının kullanılması ile kolayca elimine edilebilir. Şöyleki;

Tek saçılma modeline göre,  $r$  uzaklığındaki bir saçıcı Küttleden istasyona geri saçılmış dalganın  $\omega$  frekansındaki yerdeğiştirme spektrumu  $\phi(\omega, r)$  olsun ve birim hacimde  $N$  tane saçıcı olduğunu kabul edelim. Bir  $(r, r+\Delta r)$  mesafesinde, ve  $(t, t+\Delta t)$  varış zamanındaki tüm geri saçılmış dalgaların taşıdığı enerji, dalgaların güç spektrumunun  $\Delta t$  ile çarpımına eşittir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$P(\omega, t)\Delta t = \sum_{r_n, r+\Delta r} |\phi(\omega)|^2 = dN/dr\Delta r |\phi(\omega, r)|^2 \quad (2)$$

burada  $r_n$  istasyondan  $n$ 'inci saçıcıya olan uzaklıktır. Birim hacimdeki saçıcıların yoğunluğunun  $\sigma$  olduğu ve  $(r, r+\Delta r)$  olmak üzere küresel kabuktaki saçıcıların sayısının ise  $dN/dr\Delta r = 4\pi r^2 \Delta r$  olduğu varsayılarak, (2) bağıntısından aşağıdaki eşitliğe geçilebilir;

$$P(\omega, t)\Delta t = |\phi(\omega, r)|^2 4\pi r^2 \Delta r \quad (3)$$

Bu eşitliğe hacim dalgalarının yayılma faktörü ve soğutulma parametresi eklenerek,  $r = vt/2$ ,  $dr = v\Delta t/2$  olacak şekilde

$$P(\omega, t) = |\phi(\omega, r)|^2 8 r_0^4 \pi \sigma v^{-1} t^{-2} e^{-\omega t/Q} \quad (4)$$

eşitliği elde edilir. (4) eşitliği basit formda

$$P(\omega, t) = C t^{-m} e^{-\omega t/Q_C(\omega)} \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki  $m$ , geometrik yayılma faktörü olup kuramsal olarak yüzey dalgaları için  $m=1$ , hacim dalgaları için  $m=2$  olarak alınır;  $C$  ise kaynak fonksiyonudur.

Kaynak-alıcı uzaklığının hesaba katılmasının gerektiği durumlar için Sato (1977) tarafından tek saçılma modeli genelleştirilmiş ve özellikle 100 km'den daha fazla kaynak-alıcı mesafesi içeren verilerin soğurulma hesapları için uygulanmıştır. Tekil Yönsüz Saçılma (Single Isotropic Scattering-SIS) olarak isimlendirilen bu model,

$$E_r = C k''(x) t^{-1} e^{-\omega t/2Q_C} \quad (6)$$

ile tanımlanır.  $k''(x)$ 'in açık tanımı,

$$k''(x) = (1/r) [(1/x) \ln((x+1)/(x-1))]^{0.5} \quad (7)$$

biçimindedir. Buradaki  $k(r, x)$ ;  $S$  dalgasına yakın kesme zamanında ( $t_c$ ) artan koda dalga genliklerinin etkisini içermekte,  $r$ ; kaynak-alıcı uzaklığını,  $x=t/t_c$  ile verilen eşitlikte  $t_s$ ;  $S$  dalga zamanını göstermektedir.

Ne yazık ki, bu eşitlikler hala izotropik saçılmayı içermektedir. Gerçekte verilen bir doğrultuda saçılmış dalga miktarı, orjinal yayılım doğrultusu ile yapılan açıya ve saçıcı büyüklüğü ile dalga boyu arasındaki ilişkiye bağlıdır; (Sato, 1982). Kaynak ve alıcı aynı noktada olduğunda, tüm tekil saçılan enerji orjinal yayılım doğrultusu ile  $180^\circ$  açı yaparak geriye yansır. Böylece, saçılım açısının zaman ile ilişkisi ve değişimi ortadan kalkar. Kaynak-alıcı mesafesinin sıfır olmadığı durumlarda erken koda geç kodaya nazaran orjinal yayılım doğrultusuna yakın olan açılarda daha fazla saçılmış enerji içerir. Kısa kesme zamanlarında, ki kaynak-alıcı uzaklığı saçılmış enerjinin seyahat zamanı ile karşılaştırıldığında çok önemlidir,  $Q_C$  analizinde bir miktar hata (bias) oluşturur. Bu hatanın miktarı frekans bağımlı olabilir (Wu ve Aki, 1985). Bir çok araştırmacı,  $Q_C$  analizi için  $2^*t_s$ 'den önceki kayıdı kullanmaktan kaçınmaktadır. İzotropik olmayan saçılma erken koda kısmındaki bu yüksek genliği karşılamakta ve açıklamaktadır. Bu etki betki  $2^*t_s$  zamanından sonraki kısımda da etkisini göstermektedir. Ancak koda başlangıcının 3 veya  $4^*t_s$  zamanından sonra incelenmesi bu etkiyi büyük bir ölçüde ortadan kaldırmalarına karşın, bu uzunlukta verilerin elde edilmesi oldukça büyük problem yaratmaktadır.

3. etki aynı (2). etki gibidir, erken kodadan elde edilen  $Q_C$ ' nun gerçek  $Q$  değerinden daha düşük elde edilmesine neden olur. Eğer geometrik yayılma faktörü, kabul edilen değerden daha fazla ise soğurma ölçümleri abartılı olarak elde edilir. Örneğin, eğer geometrik yayılma faktörü  $t^2$  ise, ki normalde kullanılan  $t^{-1}$  dir (5 nolu eşitlik), elde edilen  $Q_C$  değeri düşük elde edilir ve bu hata miktarı erken kesme zamanlarında daha büyüktür. Üç boyutlu modelin ilk 15 s kesme zamanında kullanımı daha uygundur, bu durumda enerji sadece kabukta seyahat eder. Enerjinin büyük bir kısmı mantoya geçtiğinde iki boyutlu modelin kullanılması daha uygundur. İki boyutlu model sadece iki yaklaşım ile incelenebilir; birincisi kabuğun ince olması, ikincisi ise enerjinin hemen hemen hepsinin mantoya geçmesi yok olması ve geri saçılmış hiçbir koda dalgasının olmayışıdır. Bu yaklaşımlardan birincisi uzun kesme zamanlarında geçerlidir (150 s civarında). Ancak koda  $Q_C$  ölçümleri genellikle iki ve üç boyutlu olarak modellenen kesme zamanları (15-150 s) arasında yapılır. Buna rağmen, her iki model kullanılarak elde edilen koda  $Q_C$  değerleri arasındaki farkın fazla büyük olmadığı Jin ve Aki (1988) tarafından verilmiştir.

Gao ve diğ. (1983), çoklu saçılma modelinin  $Q_C$  değeri üzerindeki, etkilerini incelemiştirlerdir. Sonuçlar göstermiştir ki, uzun kesme zamanlarında kullanılan tek saçılma modeli, özellikle uzun kesme zamanlarında bir hata oluşturmakta ve  $Q_C$  değerinin büyük elde edilmesine neden olmaktadır.

Çoklu saçılma modeline göre elde edilen koda dalgalarının güç yoğunluğu spektrumu;

$$P(\omega, t) = P_s(\omega, t) + P_m(\omega, t) \quad (8)$$

ile verilir. Buradaki tekli saçılma,

$$P_s(\omega, t) = t^{-1} |\phi(\omega, r_0)|^2 n_0^2 \sigma^2 v r_0 e^{-\omega t/Q} \quad (9)$$

ve çoklu saçılma modeline göre, n.inci dereceden saçılmış koda dalgalarının güç yoğunluğu spektrumu,

$$P_m(\omega, t) = |\phi(\omega, r_0)|^2 n_0^2 \sigma^2 v r_0 e^{-\omega t/Q} \sum_{k=2}^n [\alpha_k (n_0 \sigma r)^{k-2}] \quad (10)$$

şeklinde verilmektedir.

Tablo-1

Farklı k değerleri için elde edilen  $K_k$  ve  $\alpha_k$  değerleri

k	$K_k$	$\alpha_k$
2	12.57	1.0000
3	6.276	0.5000
4	2.093	0.1670
5	0.523	0.0420
6	0.105	0.0083
7	0.018	0.0014

Buradaki  $\alpha$  değerleri farklı k değerleri için hesaplanmış sayısal sabitlerdir (Tablo1). Tablo 1'den  $\alpha$  değerlerinin kullanılması ile 10 denklemindeki köşeli parantez içinde bulunan terim  $0 \leq n_0 \sigma r \leq 6$  aralığında, yüzde 1 hata ve  $\exp(0.52 n_0 \sigma r)$  fonksiyonu ile tanımlanabilir. Böylece (10) denklemi,

$$P_m(\omega, t) = |\phi(\omega, r_0)|^2 (n_0 \sigma)^2 v r_0 \exp(0.52 r n_0 \sigma - \omega t/Q) \quad (11)$$

Veya

$$P_m(\omega, t) = S(\omega) \exp(0.26\beta - \omega t/Q) \quad 0 \leq \beta \leq 12 \quad (12)$$

şeklini alır. Buradaki,

$$S(\omega) = |\phi(\omega, r_0)|^2 (n_0 \sigma)^2 v r_0 \quad (13)$$

ve

$$\beta = (2 r n_0 \sigma) \quad (14)$$

dir. İki boyutlu bir ortam için (13) ve (14) bağıntıları kullanılarak (9) eşitliğini tekrar düzenleyecek olursak,

$$P_s(\omega, t) = S(\omega) / \beta \exp(-\omega t/Q) \quad (15)$$

elde edilir ve (12) ile (15), eşitlikleri (8) bağıntısında yerine konularak,

$$P(\omega, t) = S(\omega) \exp(-\omega t/Q) [1/\beta + \exp(0.26\beta)] \quad (16)$$

sağlanır.  $\beta$  ile verilen boyutsuz değer, saçılımdan

kaynaklanan bir kayıp olayını karakterize eder ise  $Q_s$  tekli saçılım için,

$$Q_s = \omega t / 2r n_0 \sigma \quad (17)$$

ya da

$$Q_s = \omega t / \beta \quad (18)$$

şekinde yazılabilir.

Eğer  $Q$ , ortamdaki hem anelastik, hemde saçılım olayına bağlı bir kaybı ifade ediyor ise (Dainty, 1981),

$$1/Q = 1/Q_s + 1/Q_i \quad (19)$$

(18) ve (19) eşitlikleri, (12) ve (15)' de yerine koyularak,

$$P_m(\omega, t) = S(\omega) \exp[-\omega t (0.74/Q_s + 1/Q_i)] \quad (20)$$

ve

$$P_s(\omega, t) = (Q_s / \omega t) S(\omega) \exp[-\omega t (1/Q_s + 1/Q_i)] \quad (21)$$

Dainty modeline göre tekrar düzenlenerek yazılabilir.

(21) eşitliğinden kısa kesme zamanlarında, tek saçılımın ancak,  $t_c$  artıkcı çoklu saçılımın ortamda daha baskın olduğu açıkça gözlenmektedir. Yeterince uzun kesme zamanlarında, tek saçılma modeline göre elde edilen  $Q_c$  değerleri 1.4 oranında büyük ve hatalı olarak elde edilirler. Olayın gözle ayırılabilirliği için,

$$\bar{Q} = Q/Q_s = 1, \quad 0.5 \quad \text{ve} \quad 0.2 \quad \text{olmak} \quad \text{üzere}$$

$$P(\omega, t)/S(\omega), \quad P_m(\omega, t)/S(\omega), \quad P_s(\omega, t)/S(\omega)$$

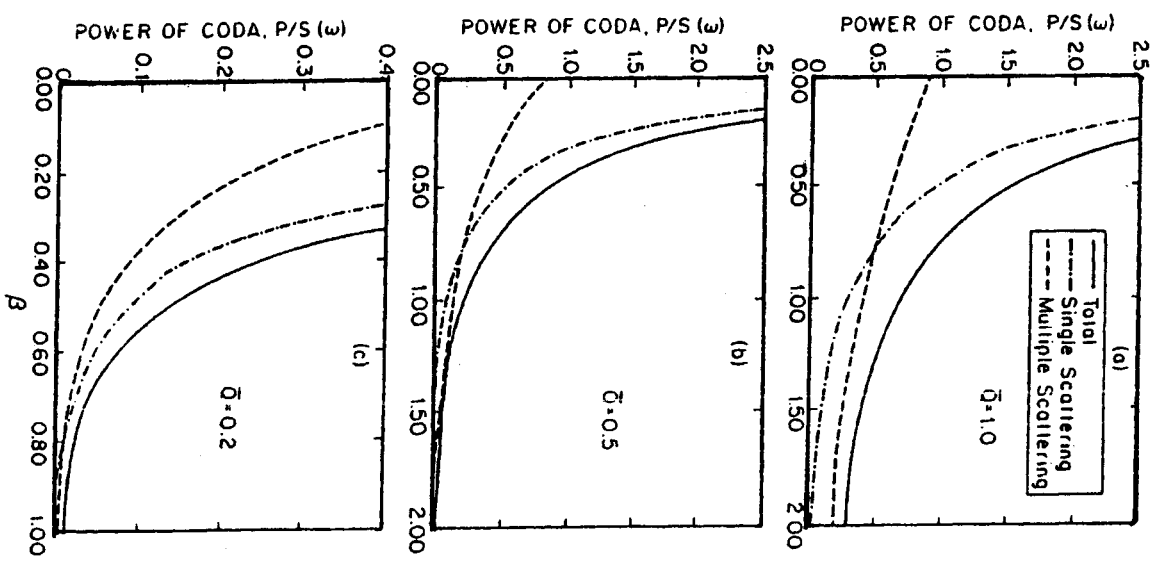
değerleri  $\beta$ 'nin fonksiyonu şeklinde grafiklenmişlerdir.

Şekil-1'de görüldüğü gibi  $\beta$ 'nin 0.8'den büyük olduğu durumlarda artık çoklu saçılma modelii baskın bir duruma gelmekte,  $t_c (0.8 (\nu n_0 \sigma)^{-1})$  durumu için tek saçılma modelii daha uygun ve doğru  $Q_c$  değerleri vermektedir.

4. etki ise,  $Q_c$ ' nun derinlik ya da uzaklık ile artması,  $Q_c$ ' nun artan kesme zamanları ile artışına neden olmasındır. Kısa kesme zamanlarında, koda dalgası yüzeye daha yakın saçıcılardan oluşacak ve sadece bu hacim içerisindeki etkileri içerecektir. Ancak çok uzun kesme zamanlarında, koda dalgası daha geniş bir hacimdeki saçıcılardan etkilenecek ve tüm ortam için ortalama bir  $Q_c$  değeri elde edilecektir. Bu güne kadar yapılan çalışmaların bir çoğu koda  $Q_c$ ' nun derinlik ile artışını desteklemektedir (Roecker ve diğ. 1982, Ibanez ve diğ. 1990, Akıncı ve diğ. 1994 gibi). Tüm araştırmacılar gözlemlerini  $Q_c$ ' nun derinlikle artımı şeklinde yorumlamışlardır.  $Q_0$ ' in zaman ile artışı birçok çalışmada gözlenmiştir:

Rautian ve Khalturin (1978)  $20 < t < 200$  s için  $Q_0 = 360$   $200 < t < 2000$  s için  $Q_0 = 900$ , Rovelli (1984)'de kısa kesme zamanı 1.28 s kullanarak  $Q_0 = 27$  uzun

kesme zamanı kullanarak 10.24 s  $Q_0 = 45$ , Pulli (1984)'de  $t < 100$  s için  $Q_c = 140$   $t > 100$  s için  $Q_c = 660$   $t^{0.4}$ , Kvanme ve Haskov (1989) pencere uzunluğu 20 ve 40 s olarak  $Q_0 = 55$  ve  $Q_0 = 120$  olarak bulmuşur. Sonuçlardan görüleceği üzere, kısa kesme zamanlarında koda  $Q_c$  değeri, uzun kesme zamanlarındaki  $Q_c$  değerine nazaran daha küçüktür.



Şekil 1: Koda dalga gücünün  $\beta$  ve  $Q$ ' nun fonksiyonu şeklinde tek ve çoklu saçılım için gösterimi. a)  $\bar{Q} = 1.0$ , b)  $\bar{Q} = 0.5$ , c)  $\bar{Q} = 0.2$ . Koda dalgası toplam güç yoğunluğu spektrumunu  $P(\omega, t) = P_s(\omega, t) + P_m(\omega, t)$  die Buradaki  $P_s(\omega, t)$  tek saçılım,  $P_m(\omega, t)$ , çoklu saçılım olayını simgeler (Gao et al., 1983a)

Figure 1: The relationship of coda power as a function of  $\beta$  and  $Q$  are shown for single and multiple scattering. The values of  $P(\omega, t)/S(\omega)$ ,  $P_s(\omega, t)/S(\omega)$  and  $P_m(\omega, t)/S(\omega)$  are shown as a function of  $\beta$ . a)  $\bar{Q} = 1.0$ , b)  $\bar{Q} = 0.5$ , c)  $\bar{Q} = 0.2$ . Note that the total power spectral density of coda waves is  $P(\omega, t) = P_s(\omega, t) + P_m(\omega, t)$ , where  $P_s(\omega, t)$  and  $P_m(\omega, t)$  are the power spectral densities due to single and multiple scattering, respectively (from Gao et al., 1983a)

Bununda nedeni kısa kesme zamanlarında, koda dalgasının kabuğun derin kısımlarına göre, daha heterojen bir yapıya sahip olan kabuğun üst kısımlarında ilerlemesi ve daha çok soğurularak düşük  $Q_C$  değeri vermesi şeklinde yorumlanmaktadır. Kesme zamanı arttıkça koda  $Q_C$  değerleri de buna bağlı olarak artmaktadır. Bu yaklaşımı destekleyen diğer önemli bir nokta da kesme zamanına bağlı olarak  $Q_C$  değerlerinin frekans bağımlılık derecelerinin değişimidir. Kısa kesme zamanlarında elde edilen  $Q_C$  değerlerinin frekans bağımlılık derecesi, uzun kesme zamanlarında elde edilen  $Q_C$ ' nun frekans bağımlılık derecesinden daha yüksektir. Ortamdaki saçıcılardan saçınmış değişik frekansdaki sinyallerin toplamı şeklinde olduğu düşünülen koda dalgalarının frekans içeriği, doğal olarak yüzeye yakın ve oldukça heterojen bir ortamda, diğer bir deyişle kısa kesme zamanlarında yüksek olacaktır. Bir bölgede hesaplanan  $Q_C$  değerlerinin yüksek derecede frekansa bağımlılık göstermesinin, bölgede var olan tektonik aktivite ve sismisite ile doğru orantılı olarak değiştiği ise, Aki,1980a; Pulli ve Aki,1981; Roecker ve diğ., 1982; ve Van Eck,1988; Del Pezzo ve diğ.,1990, tarafından verilmiştir.

## SONUÇLAR

1) Farklı araştırmacılar tarafından, farklı bölgelerde elde edilen  $Q_C$  değerlerinin karşılaştırılabilmesi için kesme zamanı ve pencere uzunluklarındaki farklılıklar gözönüne alınarak yapılmaktadır.

2) Aynı bölgede yapılan  $Q_S$  ve  $Q_{Lg}$  analizlerinin hangi kesme zamanında elde edilen  $Q_C$  ile karşılaştırılması gerekliliği belirtilmelidir.

3) Tekil depremler kullanılarak elde edilen  $Q_C$ ' ların ortalamasından elde edilen bölgeye ait  $Q_C$  değerlerinde ortalama alınırken tam depremlerin aynı kesme zamanına karşılık gelmesine dikkat edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Aki, K., 1969. Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves. *J. Geophys. Res.*, 74, 615-631.
- Aki, K. and Chouet, B., 1975. Origin of coda waves; source, attenuation and scattering effects. *J. Geophys. Res.*, 80, 3322-3342.
- Aki, K., 1980a. Attenuation of shear waves in the lithosphere for frequencies from 0.05 to 25 Hz. *Phys. Earth planet. Inter.*, 21, 50-60.
- Aki, K., 1980b. Scattering and attenuation of shear waves in the lithosphere. *J. Geophys. Res.*, 85, 6496-6504.
- Aki, K., 1981. Source and scattering effects on the spectra of small local earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 1687-1700.
- Akıncı, A. Attenuative Behaviour of Western Anatolia and Southern Spain using single and multiple scattering models., Ph.D. thesis, 1994. University of Dokuz Eylül, İzmir Türkiye, (In English).

- Akıncı, A., G. Taktak and S. Ergintav, 1994a. Attenuation of coda waves in the Western Anatolia. *Phys. Earth Planet. Int.*, (yayında)
- Dainty, A. M., and Toksöz, N., 1981. A scattering model to explain seismic  $Q$  observations in the lithosphere between 1 and 30 Hz. *Geophys. Res. Lett.*, 8, 1126-1128.
- Del Pezzo, E., Ferulano, F., Giarrusso, A. and Martini, M. 1983. Seismic coda  $Q$  and scaling law of the source spectra at the Aeolian Island, Southern Italy. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 73, 97-108.
- Del Pezzo, E. and Scarcella, G., 1986. Three-component coda  $Q$  in the Abruzzi-Molise region, Central Apennines. *Annales Geophysicae*, 4, 589-592.
- Del Pezzo, E. De Martino S., De Miguel F., Ibanez J.M. and Sorgente S., 1990. Characteristics of the seismic attenuation in two tectonically active zones of the Southern Europe. *Pure Appl. Geophys.*, 135, 91-106.
- Gao, L. S., Lee L. G., Biswas N. N. and Aki, K., 1983a. Effects of multiple scattering on coda waves in three dimensional medium. *Pure Appl. Geophys.*, 121: 3-15.
- Gao, L. S., Lee L. G., Biswas N. N. and Aki, K., 1983b. Comparison of the effects between single and multiple scattering on coda waves for local earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 73, 377-389.
- Haskov, J., Malone, S., McClurg, D. and Crosson, R., 1989. Coda  $Q$  for the state of Washington. *Bull. Seism. Soc. Am.* 79, 1024-1038, 1989
- Ibáñez, J.M., 1990. Coda wave and  $L_g$  attenuation in South Spain and Italy using digital seismograms. Ph. D. Thesis. Universidad de Granada. Granada. 306 pp. (In Spanish).
- Ibáñez, J.M., Del Pezzo, E., De Miguel, F., Herratz, M., Alguacil, G. and Morales, J., 1990. Depth dependent seismic attenuation in the Granada zone (Southern Spain). *Bull. Seism. Soc. Am.*, 80, 1222-1234.
- Jin, A. and Aki, K., 1988. Spacial and temporal correlation between coda  $Q$  and seismicity in China. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 78, 741-769.
- Knopoff, L., 1964. *Q. Rev. Geophys.*, 2, 625-660.
- Kvamme, L. B. and Haskov, J., 1988.  $Q$  in Southern Norway. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 79, 1575-1588.
- Pulli, J. J. and K. Aki, 1981. Attenuation of seismic waves in the lithosphere: comparison of active and stable areas, in *Earthquakes and Earthquake Engineering: The Eastern US*, J. E. Beavers, Editor, Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Michigan, 129-141
- Pulli, J. J., 1984. Attenuation of coda waves in New England. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 74, T T 49-1, 166.
- Rautian, T. G. and Khalurin, V. I. 1978. The use of the coda for determination of the earthquake source spectrum. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 68, 923-948.
- Rhea, S., 1984.  $Q$  determined from local earthquakes in the South Carolina coastal plain. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 74, 2257-2268.
- Roecker, S. W., Tucker, B., King, J., and Hartzfeld, D., 1982. Estimates of  $Q$  in central Asia as a function of frequency and depth using the coda of locally recorded earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 72, 129-149.
- Rovelli, A., 1982. On the frequency dependence of  $Q$  in Friuli from short period digital records. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 72, 2369-2372.
- Sato, H., 1977. Energy propagation including scattering effects single isotropic scattering approximation. *J. Phys. Earth*, 25, 27-41.

*Sato, H., 1982. Coda wave excitation due to nonisotropic scattering and nonspherical source radiation. J. Geophys. Res., 87, 8665-8674.*

*Singh, S.K. and Herraman, R.B., 1983. Regionalization of crustal coda Q in the continental United States. J. Geophys. Res., 88, 527-538.*

*Van Eck T., 1998. Attenuation of coda waves in the Dead Sea region, Bull. Seis. Soc. Am., 2, 770-779.*