

DOĞU ANADOLU'DA SOĞURMA^(*)

Attenuation in Eastern Anatolia

Fadime SERTÇELİK¹ ve Özer KENAR¹

ÖZET

B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE)'ne ait Diyarbakır istasyonunda (DYB) kaydedilmiş dış merkez uzaklıkları 56-442 km, magnitüdüleri $M_L=2.5-5.5$ arasında değişen 98 adet yakın alan deprem verisinin P dalgası genlikleri kullanılarak Doğu Anadolu için soğurma çalışması yapılmıştır.

Düsey bileşen kayıtlarından okunan P dalgası genlikleri kullanılmış ve tek istasyon olduğu için alet düzeltmesi yapılmamıştır. Genlik-magnitüd ilişkisi temeline dayanılarak klasik magnitüd formülünde sinyal uzunluğu yerine sismogramlardan okunan P dalgası genlik değerleri konmuştur. Her bir deprem için oluşturulan denklem sistemi, en küçük kareler yöntemiyle çözülmüştür. Böylece Doğu Anadolu için genliğe bağlı yeni bir magnitüd formülü geliştirilmiştir. $M_L=0.48\log A+0.0024\Delta+4.73$ şeklindeki bu formülden yararlanarak, genlikler üzerinden magnitüd etkisini gidermek için $M_L=4.0$ 'e göre magnitüd normalizasyon işlemi yapılmıştır. Normalize edilmiş genlikler yardımıyla Doğu Anadolu için soğurma katsayısı $\gamma=0.0114\text{km}^{-1}$ ve kalite faktörü $Q=47.5$ olarak bulunmuştur.

ABSTRACT

P wave amplitudes of 98 near field earthquake data recorded at Diyarbakır Station of B.Ü. Kandilli Observatory Earthquake Research Institute (KOERI) were used for the determination of attenuation in Eastern Anatolia. Selected epicenter distances and magnitudes for these events are in the range of 56-442 km and $M_L=2.5-5.5$, respectively.

Direct P- wave amplitudes read on vertical-component records were used and instrument correction was not carried out due to having only one station. Based on the relationship between amplitude and magnitude, P wave amplitudes were used instead of signal duration in the classical magnitude formula. The linear equation system obtained for the all events was solved using the least-squares method. As a result, magnitude formula as a function of amplitude was developed for the region as $M_L=0.48\log A+0.0024\Delta+4.73$. In order to remove effect of the magnitudes on the amplitudes, magnitude normalization process has been performed for a reference value $M_L=4.0$. The attenuation coefficient $\gamma=0.0114\text{ km}^{-1}$ and quality factor $Q=47.5$ were obtained use for Eastern Anatolia.

¹ Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Müh. Böl. İzmit/Kocaeli

^(*) Ulusal Jeofizik 2000 Ankara Toplantısı'nda sunulmuştur.

GİRİŞ

Yakın alan deprem verileriyle yeriçinin soğurma özelliklerinin incelenmesi, sismolojinin önemli uygulama alanlarından biridir.

Bir bölgede deprem tehlikesinin tahmini iki aşamalıdır. İlk olarak, tehlikeli yer hareketi üretecek olası deprem kaynaklarının yapısının anlaşılması gerekir. Bu da sismik kaynak zonlarının dağılımını, büyük depremlerin tekrarlanma aralıklarını ve her bir zon içerisindeki hakim deprem mekanizmalarının bilinmesini içerir. İkinci olarak, kaynak etkilerini ve sismik dalgaların geçtiği ortamların etkisi ortaya konmalıdır. Sismik dalgaların yayılımına etki eden iki önemli fiziksel parametre ise dalga hızı ve soğurmadır.

Soğurma; yerin ısı, bileşimi, esnekliği ile ilgilidir. Odak mekanizma çözümleri, magnitüd ve kabuk yapısı belirleme işlemleri başta olmak üzere birçok çalışma için önemli bir parametre olan sismik enerjinin azalımı, birçok araştırmacı tarafından ilgilenilen bir konudur. Sismik dalgaların soğurulması konusunda çok farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu çalışmalar, laboratuvarlarda değişik basınç ve sıcaklık koşulları altında yapılırken, saha gözlemlerinde P, S veya yüzey dalgaları kullanılarak yapılabilmektedir. Çalışmanın kapsamına göre yakın, ya da uzak alan verileri kullanılabilir, hatta zaman veya frekans ortamında işlemler yapılabilmektedir.

Türkiye gibi tektonik yönden oldukça aktif bölgeler için soğurma çalışmaları oldukça önemlidir. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalara bakıldığında, Batı Anadolu için koda dalgalarıyla Akıncı (1994), Marmara Bölgesi için S ve Koda dalgalarıyla Horasan ve diğ. (1998), P dalgasıyla yerel depremlerin magnitüd ve soğurma analizi Sertçelik (1999), Doğu Türkiye için Lg fazlarının soğurulması Püskülcü (1996), Erzincan bölgesinde S ve Koda dalgalarıyla soğurma çalışması Akıncı ve Eyidoğan (1996), Türkiye geneli için ise Sn ve Lg dalgaları yardımıyla Gök ve Türkelli (2000) tarafından yapılmıştır.

SİSMİK DALGALARDA SOĞURULMA

Uzaklık arttıkça, deprem kaynağından çıkan sismik dalgaların genliği azalır. Bunun nedeni; geometrik yayılma, sismik enerjinin ısıya dönüşümü sonucu soğur-

manın oluşmasıdır. Sismik hızlara benzer olarak kabuktaki soğurma özelliklerinin değişimi, derinliğin ve yanal geçişin bir fonksiyonudur. Genellikle yeriçinde soğurma değişimleri hız değişimlerinden biraz daha büyüktür.

Soğurma, dalganın enerjisinde meydana gelen azalmadır. Sismik dalganın yayıldığı ortamın fiziksel özellikleri, dış merkez uzaklığı, aletsel etkiler (örneğin süzgeçleme) soğurulmaya neden olan faktörlerdir.

Bir ortamda ilerleyen dalganın enerjisi genellikle orantılıdır. Kaynaktan yayılan dalganın enerjisi, kürenin yarıçapının karesiyle artan küre yüzeyi üzerinde dağılır. Bu nedenle birim yüzeydeki enerji, kaynaktan olan uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak değişir. Genlikteki değişim ise, birim yüzeydeki enerjinin karekökü ile orantılı, uzaklık ile ters orantılıdır. Ayrıca ısıya dönüşüm nedeniyle de, dalga enerjisinde azalma olabilmektedir. "Spesifik Attenüasyon Faktörü" diye adlandırılan Q (kalite faktörü), birimsiz olması nedeniyle oldukça kullanışlı bir simgedir. Kalite faktörü, kuru kayalarda frekans bağımsız olmasına rağmen, kısmen veya tamamen doymuş kayalarda frekansa bağlı olabilir (Gardner ve diğ. 1964). Genelde su doygunluğu P ve S dalgalarının Q değerlerini azaltır. Bu azalma S dalgalarında P dalgalarından daha fazladır. Diğer bir fiziksel parametre olan basınçla da Q'nun ilişkisi vardır. Basınç arttıkça Q değeri artar (Klima ve diğ. 1964, Bready ve diğ. 1966, Mason ve diğ. 1970). Q, genelde 50-300 arasında değişir. Yalnızca gaz haline gelme ve kayalardan gaz çıkışı durumunda Q değeri 2000'in üzerindedir (Clark ve diğ. 1980, Tittman ve diğ. 1974). Anderson ve Kovach (1964)'ın yaptıkları çalışma sonuçlarına göre Q'nun üst manto için 160, alt manto için yaklaşık 1450 olduğu ortaya çıkmıştır.

Bir cisme ω frekansı ile periyodik olarak gerilme uygulandığında Q,

$$\frac{1}{Q(\omega)} = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta E}{E} \quad (1)$$

olarak tanımlanır. Burada,

E:Cisimde depolanan yamulma enerjisi,

$-\Delta E$:Herbir dönüşteki enerji kaybıdır. Bu enerji kaybı cismin tam esnek olmamasından dolayı meydana gelir.

Q:Kalite faktörü olup boyutsuz bir büyüklüktür.

Ancak sadece özel deneylerle bir cismin genliği ve periyodu değişmeyen stres dalgaları ile incelemek mümkün olabileceğinden (1) bağıntısı ile verilen tanım seyrek olarak kullanılmaktadır.

Soğurma çalışmaları daha genel olarak,

1. Sabit bir dalga sayısında duran dalganın genliğinin zamansal azalımı gözlenir.

2. Sabit frekansla ilerleyen bir dalganın genliğinin uzaysal azalımı gözlenir.

Sismolojide soğurma konusu, genel olarak çeşitli frekanslardan oluşmuş sinyalin soğurulmasını içerir. Soğurmanın doğrusal bir olay olduğu konusunda varsayım yapılırsa, bu anlamda dalga Fourier bileşenlerine ayrılır ve bileşenlerin herbiri yukarıdaki 1. ve 2. şıklarındaki yöntemlerle incelendikten sonra Fourier sentezi, gerçek sismik sinyaller üzerinde soğurmanın en doğru etkisini verecektir (Aki and Richards 1980).

Soğurmanın diğer bir tanımı da harmonik bir dalganın genliğinde meydana gelen azalımın logaritmasıdır. Buna göre logaritmik azalım,

$$\delta = \ln(A_1 / A_2) \quad (2)$$

şeklinde tanımlanır. Burada A_1 ve A_2 iki farklı uzaklıktaki genliklerdir. (2) bağıntısı seriye açıldığında,

$$\delta = \ln(A_1 / A_2) = (A_1 - A_2 / A_1) + \frac{1}{2} (A_1 - A_2 / A_1)^2 + \frac{1}{3} (A_1 - A_2 / A_1)^3 \quad (3)$$

elde edilir ve ayrıca, soğurma büyükse (3) bağıntısındaki yüksek dereceden terimler ihmal edilebilir. Böylece,

$$\delta = A_1 - A_2 / A_1 = [(A_1 - A_2) (A_1 + A_2) / A_1 (A_1 + A_2)] \quad (4)$$

bulunur ve aynı zamanda (4) bağıntısı,

$$\delta = A_1^2 - A_2^2 / 2 A_1^2 \quad (5)$$

olarak yazılabilir. Bilindiği gibi bir dalganın enerjisi, genliğinin karesiyle orantılıdır. Bu durumda (5) numaralı bağıntıdan,

$$\delta = \Delta E / 2E \quad (6)$$

elde edilebilir. Diğer yandan (2) numaralı bağıntının kullanılmasıyla aşağıdaki logaritmik azalma faktörü yazılabilir.

$$\begin{aligned} \delta &= \ln(A_0 e^{\gamma r_1} / A_0 e^{\gamma r_2}) \\ &= \ln e^{\gamma(r_1 - r_2)} \\ &= \gamma(r_1 - r_2) \end{aligned} \quad (7)$$

Burada logaritmik azalım bir dalga boyu mesafedeki logaritmik genlik azalımını ifade eder;

$$\delta = \gamma \lambda = \gamma V / f \quad (8)$$

Burada, γ , dalga boyu; V, hız; f, frekans'tır. (1) ve (8) kullanıldığında,

$$1/Q = \Delta E / 2\pi E = \delta / \pi = \gamma V / \pi f \quad (9)$$

elde edilir. (9) nolu bağıntı, elastik dalgalarının soğurulmasının saptanmasında kullanılır; fakat istasyon ve kaynak arasındaki uzaklık nedeniyle bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Ayrıca elastik dalgaların hızları derinlikle artar ve böylece ışın yolları eğrisel bir biçim alır. Işın yolu boyunca soğurmayı elde etmek için (9) bağıntısının ışın yolu boyunca integralinin alınması gereklidir. Buna göre,

$$\gamma = \pi f \int dS / QV \quad (10)$$

olur. Bu işlem yapıldıktan sonra dalganın genliği,

$$A=A_0e^{-\pi f_{as}/QV} \quad (11)$$

şeklinde yazılabilir. Bu bağıntı, birim uzunluktaki ışın yolu için geçerlidir. Fiziksel olarak soğurma Q^{-1} ya da kalite faktörü, her bir devirdeki (örn: sn, km) dağılan (kaybolan) enerjinin toplam enerjiye oranıdır.

Sismik dalgalar yeriçinde yol alırken, kaybolan enerjileri nedeniye etkileri azalır.

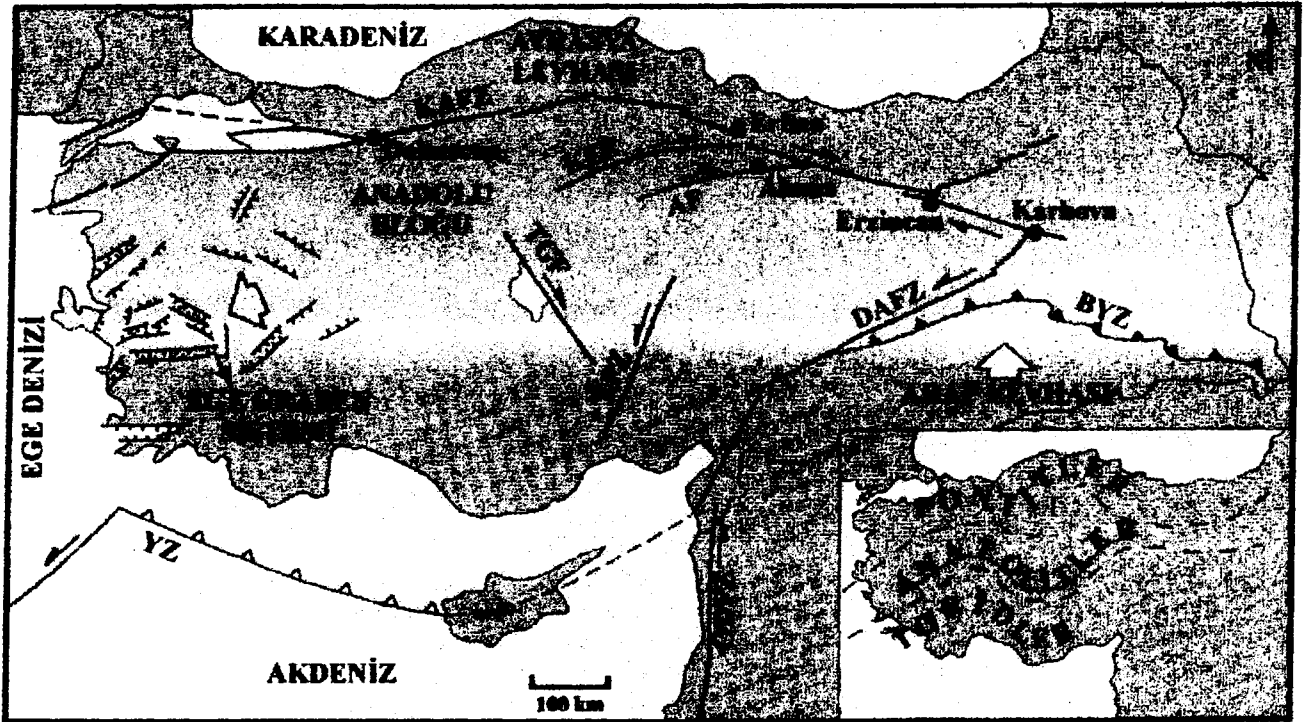
Kaynaktan alıcıya gelene kadar sismik dalgaların soğurulmasının artması, kalitelerinin düşmesine neden olur. Buradan da anlaşılacağı gibi, kalite faktörü ile soğurma ters orantılıdır. Aralarındaki bağıntı ise şu şekildedir:

$$Q = \frac{\pi \cdot f}{\gamma \cdot V} \quad (12)$$

Bu bağıntıda; f: frekans; V: dalga hızı; Q: kalite faktörü; γ : soğurma katsayısıdır. Yukarıda görüldüğü gibi soğurma; dalganın frekansına, ortamın esnek dalga hızına, ortamın kalite faktörüne bağlıdır. Sonuçta, soğurma katsayısı (γ) arttıkça, kalite faktörü (Q) azalmaktadır.

DOĞU ANADOLUNUN JEOTEKTONİK YAPISI

Pek çok araştırmacının ortaya koyduğu gibi Anadolu'nun tümü sıkışmaya uğramış ve basınç altında açıklanan tektonik ve stratigrafik birlikler oluşmuş ve genelde sınır bölgelerinde doğu-batı doğrultulu önemli fay, tektonik sınır ve volkanik zonlar meydana gelmiştir (Şengör ve Kidd 1979, Şaroğlu ve Yılmaz 1984).



Şekil 1. Anadolu'daki büyük tektonik birimler ve dağılımları (Piper ve diğ. 1996). TGF, Tuz Gölü Fayı; KEF, Kırıkkale-Erbaa Fayı; AF, Almus Fayı; EFZ, Ecemiş Fayı; YZ, Doğu Akdeniz Yitim Zonu; ODFZ, Ölü Deniz Fay Zonu; BYZ, Bitlis Bindirme Zonu.

Figure 1. Major tectonic units and their distribution. (Piper et.al. 1996). TGF, Tuz Gölü Fault; KEF, Kırıkkale-Erbaa Fault; AF, Almus Fault; EFZ, Ecemiş Fault; YZ, East Mediterranean subduction Zone; ODFZ, Dead Sea Fault Zone; BYZ, Bitlis Thrust Zone.

Dolayısıyla bu sınırlar boyunca kuzeyde kuzeye, güneyde ise güneye itilmeler, devrilmeler, şariyaj ve naplar oluşmuştur. Bu yapılar; Doğu Anadolu'nun kabaca K-G yönünde uzamasına, kıta kabuğunun kalınlaşmasına ve bölgenin yükselmesine neden olmuştur. Böylece neotektonik boyunca D-B uzanımlı ve senklinallere karşılık gelen havzalar ile antiklinallere karşılık gelen sırtlar gelişmiştir.

K-G yönünde meydana gelen açılma çatlakları ile sıçrama yapan doğrultu atımı faylar arasında havzalar gelişmiştir (Şekil 1). Kıta kabuğunun evrimine bağlı olarak bölgenin genç volkanizması da değişiklikler sergilemiştir. Volkanlar genelde gerilme çatlaklarını kendilerine çıkış yolu olarak seçmiştir. Dönemin diğer bir özelliği, K-G yönlü akarsuların yarma vadiler; D-B yönündekilerin ise menderesli yataklar geliştirmiş olmasıdır. Doğu Anadolu'da yeni döneme ait yaygın çökelt alanları ve bu çökellerle yaşıt, geniş alanlar kaplayan volkanitler yer almaktadır. Bölgenin önemli volkanları: Nemrut, Süphan, Tendürek ve Ararat Dağı'dır. Önemli faylar: Doğu Anadolu Fayı, Kuzey Anadolu Fayı, Malazgirt fayı, Süphan Fayı, Kagızman Fayı, Erzurum Fayı, Çaldıran Fayı, Balık Gölü Fayı, Tutak Fayı, Hasan Timur Fayı ve Erçiş Fayı'dır

DOĞU ANADOLU'DA P DALGALARININ SOĞURULMASI

Verilerin Özellikleri

Doğu Anadolu'da elastik dalgaların soğurulmasını incelemek için BÜ Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Diyarbakır İstasyonunda (DYB) kaydedilmiş 98 tane depremin sismogramlarından yararlanılmıştır. Bunlar, 34°-41° K enlemleri ile 34°-44.5° D boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 2). Dış merkez uzaklıkları 56-442 km'ler arasında, magnitüdler ise 2.5 – 5.5 arasında değişmektedir.

Kullanılan deprem kayıtları DYB'e ait olduğundan ve hepsi aynı türde sismograf tarafından kaydedildiği için alet düzeltmesi yapılmamıştır. Çizelge 1'de verilen depremlerin magnitüdüleri ve odak derinlikleri, KRDAE tarafından belirlenmiştir.

P dalgalarının genlikleri kullanılmıştır Şekil 3.'te kullanılan bazı sismogramlar görülmektedir.

Magnitüd Normalizasyonu

Çalışmada kullanılan depremlerin magnitüdüleri 2.5 ile 5.5 arasında değişmektedir.

Çizelge 1. 1997-1999 yılları arası Doğu Anadolu'da oluşmuş ve çalışmada kullanılan deprem odak parametreleri

Table 1. Parameters of the earthquakes between 1997 and 1999 used in this study .

Sıra	Oluş Zamanı		Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Dış Merkez Uzak. (km)	Magnitüd	
1	970123	1453	12.90	35-58.80	36-11.40	10.00	420.264	4.00
2	970215	0140	49.90	38-21.00	40-35.40	23.00	76.586	4.30
3	970215	1556	5.00	37-56.40	37-49.80	0.00	233.119	4.10
4	970216	1950	3.30	37-58.20	37-45.60	0.00	236.647	4.20
5	970226	2247	51.40	36-4.20	36-16.20	20.00	375.198	4.00
6	970228	0003	52.30	40-40.80	35-18.00	5.00	534.520	4.70
7	970304	1422	56.30	39-19.80	40-58.80	12.00	187.176	4.30
8	970325	0055	36.80	37-12.00	38-50.40	10.00	152.526	3.70
9	970326	1320	24.30	33-50.40	35-16.80	19.00	634.955	4.70
10	970409	1947	9.30	37-56.40	39-50.40	0.00	56.554	3.40
11	970411	2004	14.30	38-16.20	39-6.60	1.00	116.560	3.30
12	970419	1100	49.90	38-44.40	42-7.80	0.00	197.391	4.20

Sıra	Oluş Zamanı		Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Dış Merkez Uzak. (km)	Magnitud	
13	970420	0630	52.30	38-12.00	38-55.80	4.00	153.158	3.90
14	970420	2108	4.00	36-48.60	42-40.20	0.00	232.247	4.70
15	970420	2117	26.80	36-52.80	42-39.00	0.00	229.231	4.30
16	970504	1939	7.80	39-3.60	38-44.40	5.00	223.077	3.60
17	970526	0051	52.90	38-21.00	38-55.20	5.00	158.308	3.10
18	970529	2346	10.80	38-13.80	41-28.80	0.00	121.093	3.50
19	970601	1033	44.90	39-21.00	41-40.80	0.00	215.888	4.00
20	970624	0842	47.60	38-22.80	39-7.80	7.00	120.574	4.10
21	970625	1012	12.50	38-13.80	39-5.40	6.00	116.705	3.80
22	970626	1337	44.50	39-7.80	42-34.80	5.00	257.826	4.00
23	970710	1550	38.80	38-57.60	40-26.40	15.00	115.811	3.80
24	970717	2236	40.80	38-30.60	39-27.00	0.00	114.595	3.50
25	970828	0143	13.00	39-12.60	40-50.40	9.00	179.129	3.50
26	970911	1559	57.20	38-28.20	39-13.80	5.00	120.253	3.40
27	970920	2342	17.50	39-5.40	40-12.60	7.00	167.474	3.80
28	970926	1113	6.30	39-19.80	41-26.40	0.00	208.487	4.00
29	970930	0215	57.80	38-12.00	38-46.20	0.00	161.182	3.60
30	971002	0106	28.50	38-41.40	44-36.00	0.00	382.838	4.40
31	971010	0648	19.40	38-20.40	39-12.60	8.00	115.079	3.10
32	971010	2121	0.20	38-37.20	43-27.00	6.00	289.883	4.00
33	971010	2335	38.00	38-40.20	43-54.60	7.00	314.228	4.00
34	971012	0506	7.70	38-28.20	43-23.40	12.00	283.655	4.20
35	971013	0158	30.30	37-15.60	36-20.40	10.00	351.339	3.80
36	971013	1303	11.40	38-25.20	37-15.60	10.00	273.498	2.90
37	971017	0225	24.60	37-21.60	36-11.40	3.00	358.395	3.90
38	971022	2328	51.50	38-1.20	42-34.20	0.00	200.560	3.70
39	971023	1606	37.30	38-42.60	41-19.80	0.00	135.659	4.00
40	971030	0405	33.60	38-48.60	43-15.60	0.00	285.176	4.40
41	971101	1350	51.00	39-16.20	39-45.00	0.00	189.510	4.10
42	971102	0025	58.50	38-46.20	43-26.40	0.00	292.216	4.40
43	971103	0807	57.80	38-45.60	42-24.00	8.00	210.677	4.90
44	971103	0847	2.30	38-36.00	41-1.20	12.00	118.777	4.10
45	971105	0315	14.70	38-22.80	42-57.00	0.00	226.900	4.00
46	971206	0417	0.20	38-25.20	39-13.20	8.00	118.675	4.00
47	971209	0316	8.50	36-53.40	42-42.60	2.00	232.340	4.50
48	971212	0801	16.00	39-49.80	41-52.80	0.00	248.860	4.00
49	971214	0312	56.60	35-28.80	34-45.60	14.00	566.727	3.90
50	980107	0431	45.00	38-15.00	39-6.00	4.00	116.601	3.00
51	980107	1933	35.70	38-33.60	40-39.60	5.00	90.308	2.90
52	980116	2236	41.50	39-21.00	40-4.80	23.00	185.438	3.30
53	980125	0055	1.90	37-49.20	38-48.00	5.00	146.746	3.90
54	980224	0645	58.20	39-46.20	41-19.80	2.00	231.788	3.70
55	980224	1020	45.90	39-16.20	39-54.60	1.00	187.163	4.20
56	80305	1903	3.10	38-3.00	38-36.00	0.00	165.836	3.80
57	980315	2310	38.90	37-34.20	38-15.60	4.00	177.367	4.00
58	980328	0029	57.70	38-12.60	38-42.60	5.00	164.402	4.40

Sıra	Oluş Zamanı		Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Dış Merkez Uzak. (km)	Magnitud	
59	980627	1355	51.80	36-57.60	35-31.20	18.00	442.506	6.30
60	980628	0359	24.80	37-0.00	35-40.80	6.00	424.305	4.90
61	980630	0242	46.50	37-3.60	35-36.00	8.00	427.280	3.10
62	980704	0215	47.20	36-51.00	35-28.20	35.00	446.905	5.10
63	980717	1815	13.60	36-42.00	36-2.40	5.00	386.970	4.00
64	980807	0136	12.70	37-54.60	43-14.40	0.00	264.935	4.40
65	980922	0458	45.00	36-58.80	36-56.40	0.00	335.475	4.10
66	981008	2048	9.10	38-46.80	40-13.20	7.00	102.038	4.40
67	981011	0722	19.80	38-52.80	42-23.40	0.00	213.151	3.90
68	981014	0119	6.70	39-17.40	40-54.00	25.00	184.131	3.60
69	981015	1226	54.80	39-3.00	40-25.20	2.00	165.530	3.60
70	981018	0837	44.10	37-17.40	36-15.00	12.00	355.585	4.10
71	981024	2127	48.30	38-39.00	43-4.80	0.00	271.529	3.60
72	981104	0143	7.40	37-53.40	38-47.40	5.00	147.485	4.10
73	981106	0414	54.60	38-54.00	42-33.60	22.00	221.817	3.90
74	981106	1032	20.10	39-12.00	40-8.40	5.00	175.326	4.00
75	981110	0539	31.50	39-9.00	40-10.20	5.00	171.945	4.30
76	981110	0842	30.70	39-8.40	40-9.00	1.00	250.718	4.60
77	981110	0859	26.00	39-12.60	40-7.80	12.00	175.353	4.00
78	981110	1554	53.80	39-9.00	40-8.40	2.00	171.987	4.10
79	981111	0308	30.90	39-10.80	40-11.40	0.00	173.051	3.50
80	981118	0532	24.40	39-10.20	40-4.20	0.00	173.246	3.80
81	981118	1658	38.30	39-8.40	40-15.00	13.00	170.803	3.90
82	981119	1915	28.10	38-7.20	38-55.80	7.00	151.764	3.20
83	981220	0321	12.80	38-46.20	40-1.20	1.00	102.676	4.50
84	981220	1348	42.50	39-23.40	40-10.20	18.00	187.472	4.20
85	990102	257	18.73	38-40.25	39-47.99	.62	112.058	4.10
86	990115	1147	45.13	38-35.48	40-15.75	.08	89.825	3.66
87	990121	213	50.86	37-4.68	36-13.13	09	359.580	3.85
88	990125	035	6.00	39-17.06	40-13.34	.77	180.794	3.45
89	990125	23.7	11.84	38-24.76	40-24.34	.08	78.147	3.22
90	990214	1659	14.2	38-1.03	38-33.35	.07	167.647	4.04
91	990218	22.0	45.99	38-47.36	40-19.49	5.28	103.239	3.13
92	990301	1046	36.49	39-19.69	40-46.79	.09	185.125	4.33
93	990301	1453	51.70	38-9.93	41-7.86	6.3	102.062	4.31
94	990301	1756	33.29	38-10.75	41-5.27	.90	101.302	3.91
95	990305	0	14.16	38-23.16	39-5.03	5.19	122.620	2.96
96	990313	2117	37.55	38-26.36	39-14.36	.56	118.736	4.05
97	990406	08	22.16	39-20.39	38-12.17	.05	254.980	5.13
98	990411	2135	9.39	37-46.25	38-10.59	8.78	180.459	4.00

Bu nedenle, genliklerde magnitüd etkisini gidermek için Şekil 3'te bazıları görülen sismogramlardan okunan P dalga genlikleri üzerinde $M_L=4.0$ değerine göre normalize işlemi yapılması gereği duyulmuştur. Bunun için

$$M = a \log \tau + b \Delta + c \quad (13)$$

şeklinde tanımlanan sinyal uzunluğu-magnitüd bağıntısı kullanılmıştır. Burada M: magnitüd; τ : sinyal uzunluğu; Δ : dış merkez uzaklığı; a,b,c ise sabit katsayılardır.

Bu bağıntı, sinyal süresine göre magnitüd hesaplaması yapmaktadır. Magnitüd-genlik ilişkisiyle çalışmak için magnitüd değerleri ,

$$M = d \log A + e \Delta + f \quad (14)$$

şeklinde bir bağıntıyla temsil edilmeye çalışılmıştır. Burada A, genliktir.

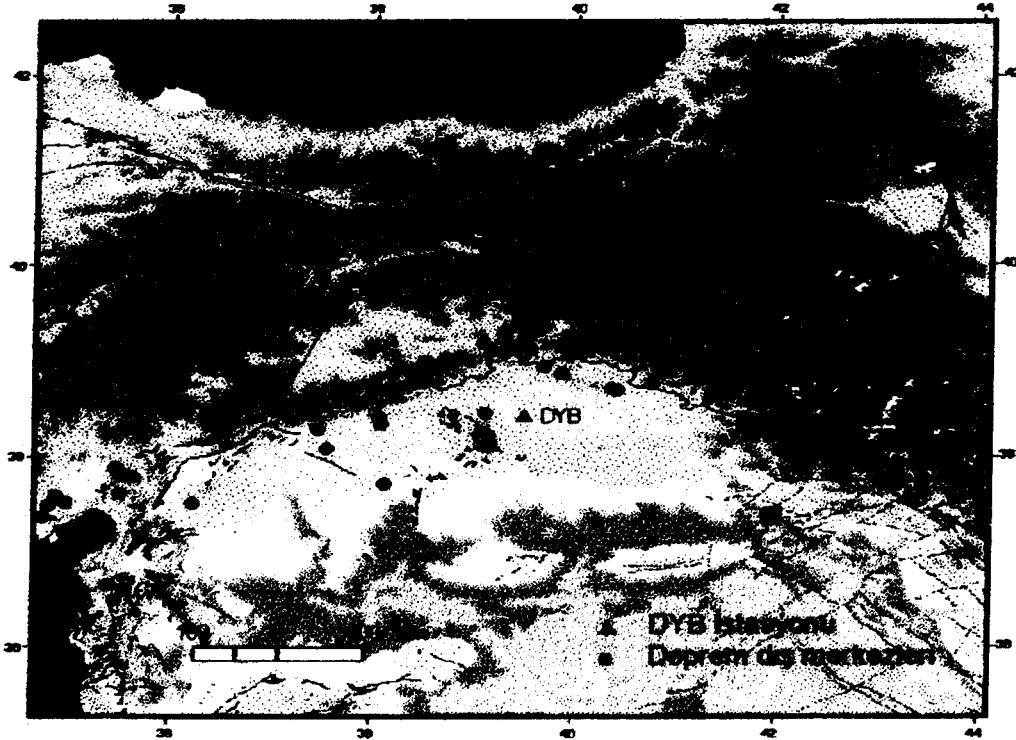
Sismogramlardan okunan P dalgasının maximum genlik değerleri (Şekil 3), 14 nolu bağıntıda yerine konularak, en küçük kareler yöntemiyle bu bağıntı sistemi çözüldüğünde d,e,f katsayıları bulunmuştur. Bunlar ise $d=0.48$, $e=0.0024$, $f=4.73$ şeklindedir.

Böylece kullanılacak bağıntı,

$$M = 0.48 \log A + 0.0024 \Delta + 4.73 \quad (15)$$

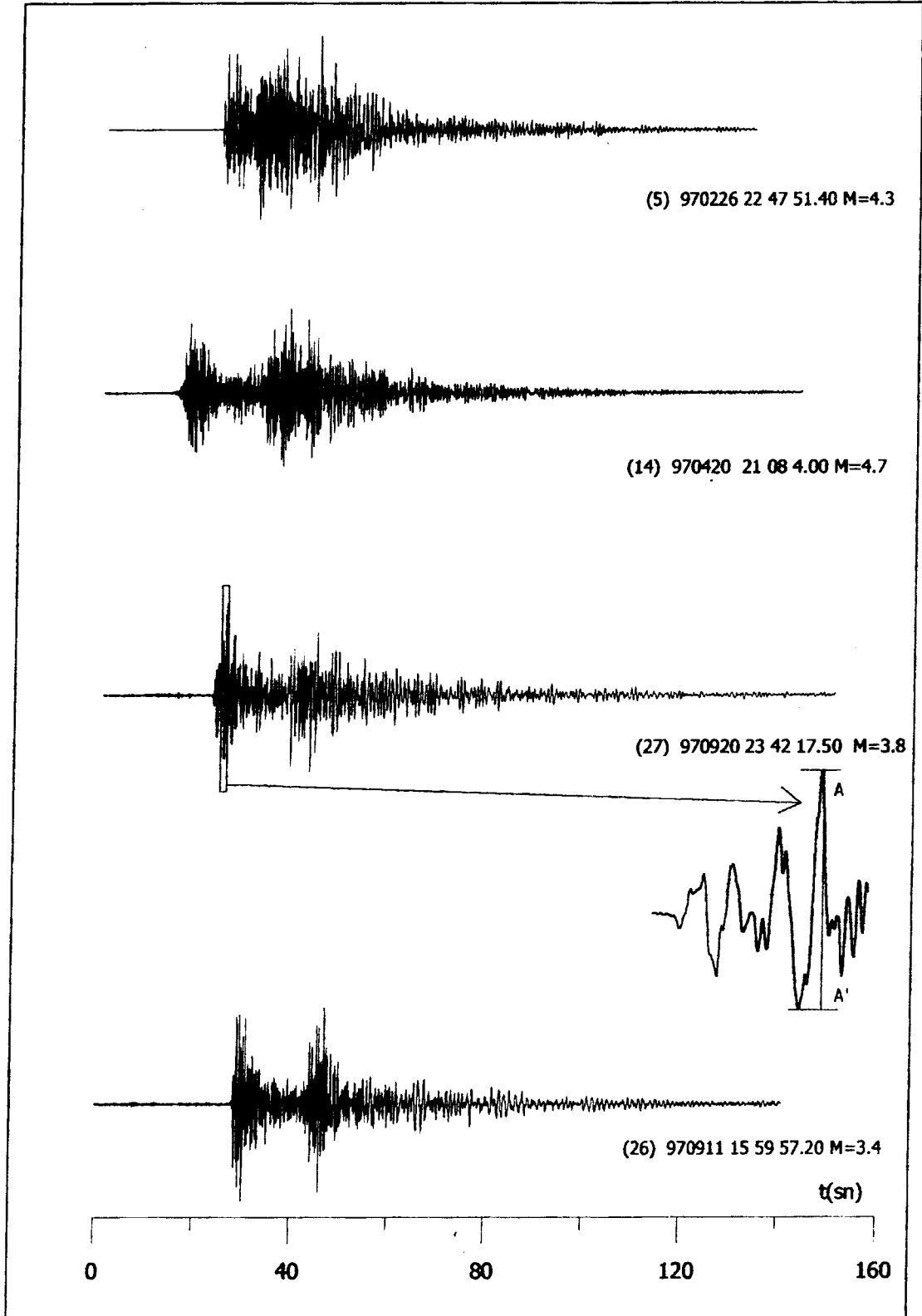
şeklinde elde edilmiştir. Sismogramlardan okunan P dalga genliklerinin dış merkez uzaklığına göre değişimi Şekil 4'te görülmektedir.

Daha sonra değişik dış merkez uzaklıklarında ve değişik genliklerde olan depremleri aynı magnitüdü imiş gibi düşünmek amacıyla tüm depremler $M_L=4.0$ referans magnitüdüne göre normalize edilmiştir. Buna göre,



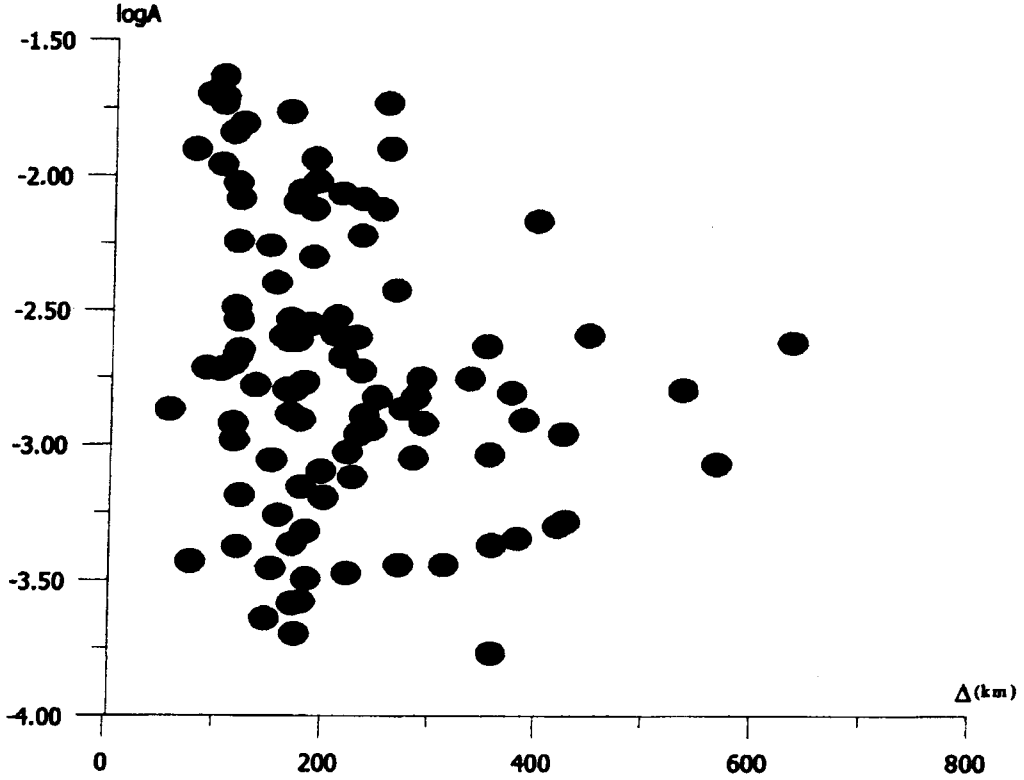
Şekil 2. Çalışmada kullanılan depremlerin dış merkez dağılımı.

Figure 2. Epicenter distribution of the earthquakes used in this study.



Şekil 3. DYB istasyonunda kaydedilmiş 4 adet düşey bileşen deprem kaydı.

Figure 3. Four vertical component seismograms of local earthquakes in the Eastern Anatolia.



Şekil 4. Çalışmada kullanılan depremlerin P Dalga genliklerinin dış merkez uzaklığına göre değişimi.

Figure 4. Variation of P wave amplitudes of the earthquakes used in the study based on the epicenter distances.

$$4.0 = 0.48 \log A + 0.0024 \Delta + 4.73 \quad (16)$$

bağıntısında her depremin değerlerine göre yazılarak çözüm yapılmıştır. Dış merkez uzaklıkları, ISK tarafından verilen dış merkez koordinatları kullanılarak hesaplanmıştır. $M_L=4.0$ 'da bütün depremlerin genlik değerlerinin dış merkez uzaklığına göre değişimleri Şekil 5'te görüldüğü gibi hemen hemen bir doğru üzerinde toplanmıştır. Bu doğrunun eğimi soğurma ile ilişkilidir. Farklı istasyon verileri kullanılması durumunda alet düzeltmesi yapılarak genliğin uzaklıkla değişimine bakılır. Ancak bu çalışma olduğu gibi tek istasyon verisi kullanımında, çalışılan frekans aralığında alet aynı büyütme değerine sahip ise doğrunun eğiminde değişim söz konusu olmadığından alet düzeltmesi işlemine gerek yoktur.

Soğurma Katsayısının hesaplanması

B.Ü. KRDAE Diyarbakır İstasyonundan alınan 98 adet depremin magnitüdüleri bir önceki bölümde $M_L=4.0$ 'a göre düzenlenmiştir. Depremlerin $M_L=4.0$ için bulunan genlik değerleri kullanılarak, bu magnitütte, odaktaki yaklaşık genlik değeri (A_0) bulunmaya çalışılmıştır. Bunun için (11) bağıntısı, kullanılan her bir deprem parametresine göre oluşturulmuş olup bunlardan birkaçı aşağıda gösterilmiştir.

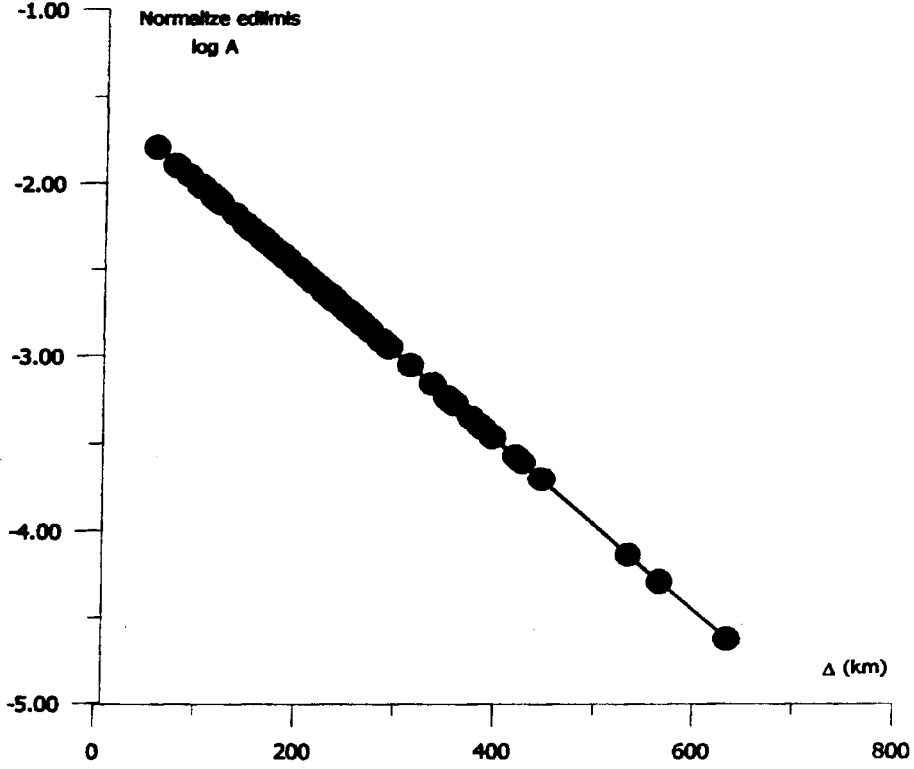
$$3.41 \cdot 10^{-04} = A_0 e^{\gamma \cdot 397.32}$$

$$2.63 \cdot 10^{-04} = A_0 e^{\gamma \cdot 420}$$

$$1.27 \cdot 10^{-04} = A_0 e^{\gamma \cdot 76.5}$$

$$2.1 \cdot 10^{-04} = A_0 e^{\gamma \cdot 233.119}$$

Burada da diğer işlemlerin çözümlerinde kullanılan en küçük kareler yöntemi ile bağıntılar çözülmüştür. İşlem sonucunda Doğu Anadolu'da $M_L=4.0$ magnitüdün-



Şekil 5. ML=4.0'da depremlerin P dalga genliklerinin dış merkez uzaklığına göre değişimi.

Figure 5. P wave amplitudes of the earthquakes normalized to ML=4.0 versus epicenter distances.

de bir depremde odakta P dalgasının genlik değeri $A_0=0.03263$ ve dalganın km başına soğurulma miktarı, $\gamma=0.0114 \text{ km}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

Kalite Faktörünün Hesaplanması

B.Ü. KRDAE'nin Diyarbakır İstasyonundan(DYB) alınan 1997-1999 yılları arasında meydana gelmiş 98 adet deprem verisine magnitüd normalizasyonu uygulanarak soğurulma miktarı bulunmuştur. Doğu Anadolu için kalite faktörünün hesaplanması ise 12 nolu bağıntı yardımıyla yapılmıştır. Bu bölge için P dalgasının ortalama hızı, 5.8 km/s (Kenar ve Toksöz 1989, Osmanşahin ve Alptekin 1990) olarak alınmıştır.

Frekans 1 Hz olarak alınabilir. Bu bilgiler ışığında 12 bağıntısı,

$$Q = \pi * 1 / (5.8 * 0.0114) \quad (18)$$

şeklinde yazılabilir. İşlem sonucunda $Q=47.5$ olarak bulunur.

Sonuç olarak, Doğu Anadolu için kalite faktörü P dalgası genlikleri ile yapılan çalışma sonucu $Q=47.5$ olarak bulunmuştur.

SONUÇLAR

Doğu Anadolu'nun soğurma miktarının belirlenmesi amaçlanan bu çalışmada bölgede oluşmuş, B.Ü. KRDAE Diyarbakır İstasyonu'nda (DYB) kaydedilmiş düşey bileşen 98 adet deprem verisi kullanılmıştır.

Çalışmada klasik magnitüd formülünde sinyal süresi yerine, depremlerin P dalga genlikleri kullanılarak magnitüd-genlik ilişkisi kurulmaya çalışılmıştır. İşlem sonucunda Doğu Anadolu için genliklerden magnitüd bağıntısı,

$$M = 0.48 \log A + 0.0024 \Delta + 4.73 \quad (16)$$

olarak bulunmuştur.

Dış merkez uzaklıkları ve genlikleri farklı olan dep-

remler, magnitüd normalizasyonu ile $M_L=4.0$ katagorisinde toplanmıştır. Elde edilen denklem sistemi çözülerek $M_L=4.0$ olan depremlerin genlik değerleri belirlenmiştir. Bulunan genlik değerleri, $A = A_0 e^{-\gamma}$ bağıntısında yerine konarak oluşturulan sistem küçük kareler yöntemiyle çözülmüştür. Buradan Doğu Anadolu'da $M_L = 4.0$ magnitüdünde bir deprem için P dalgası odak genliği $A_0=0.03263$ ve km başına soğurma miktarı $\gamma=0.0114$ olarak bulunmuştur.

Doğu Anadolu'nun kalite faktörü ise soğurma miktarı yardımıyla 1 Hz'lik frekans için (12) nolu bağıntı kullanılarak $Q=47.5$ olarak bulunmuştur.

Ayrıca daha önce bölgede L_g dalgalarıyla Püskülcü (2000) tarafından yapılan çalışmada 1-7 Hz frekans aralığında frekansa bağlı olarak 138-697 arasında değişen Q değerleri bulunmuştur.

Bu sonuçlar bölgede önemli bir tektonik aktivite ve sismisiteye sahip olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Bu çalışmayla bulunan Doğu Anadolu için sismik dalgaların soğurma miktarı (γ) ve kalite faktörü (Q); Türkiye'nin kalite faktörü haritasının çıkartılmasında, kabuk yapısının haritalanmasına ve deprem parametrelerinin sağlıklı bir şekilde belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu verilerin elde edilmesinde başta B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne, Prof. Dr. Balamir ÜÇER'e, Doç.Dr. Ali PINAR'a ve KOÜ. Yer ve Uzay Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi çalışanlarına önerileriyle katkı sağladıkları için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Aki, K. and Richards P.G. 1980, Quantitative Seismology, Theory and Methods, p. 98,168-169
2. Akıncı, A. 1994, Attenuative behaviors of Western Anatolia and Southern Spain using single and multiple scattering models. Ph.D. Thesis, Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, p. 37-39.
3. Akıncı, A and Eyidoğan, H. 1996, Frequency-dependent attenuation of S and Coda waves in Erzincan region (Turkey), Phys. Earth Planet. Inter.,97,109-119.
4. Anderson, D.L. and Kovach R.L. 1964, Attenuation in the mantle and rigidity of the core from multiply reflected core phases proc. Natl. Acad. Sci. U.S., 51, p.168-172
5. Bradley, J.J. and Fort, A. N. JR. 1966, Internal friction in rocks. In handbook of physical constants, S.P. Clark, Jr.,Ed.,GSA Publ., p. 175-193.
6. Clark, V.A., Spencer, T.W., Tittmann, B.R., Ahlberg, L.A. and Coombe, L.T.1980, Effect of volatiles on attenuation, $Q-1$ and velocity in sedimentary rocks, J. Geophys. Res. 85,p.5190-5198.
7. Gardner, G.H.F., Wyllie, M.R.J. and Droschack; D.M. 1964, Effect of pressure and fluid saturation on the attenuation of elastic waves in sands, J.Petr. Tech., p. 189-198.
8. Gök R. and Türkelli N. 2000, Regional wave propagation in Turkey and surrounding regions. Geoph. Res. Let. Vol.27 No. 3 p:429-432.
9. Horasan G., Kaşlılar A., Boztepe A. and Türkelli N. 1998, S wave attenuation in the Marmara region, northwestern Turkey, Geop. Res. Let. Vol.25 No.14 p:2733-2736.
10. Kenar, Ö. ve Toksöz, M.N. 1989, Anadolu yarımadasında yüzey dalgalarının dispersiyonu ve ortamın soğurma özellikleri, Jeofizik 3.2.s:92-106
11. Klima, K., Vanek, J. and Pros, Z. 1964, The attenuation of longitudinal waves in diabase and greywacke under pressure up to 4 kilobars, studia. Geoph. et Geod. 8, p.247-254.
12. Mason, W.P., Beshers, D.N. and Kuo, J.T. 1970, Internal friction in westerly granite; Relation to dislocation theory, J. Appl. Phys. 41, p. 5206-5209.
13. Osmañahin, İ. ve Alptekin, Ö. 1990, Love ve Rayleigh dalgalarının istasyonlar arası ortam tepki fonksiyonlarından Anadolu ve civarında kabuk ve üst manto yapısının belirlenmesi. Jeofizik 4.2 s:123-146

14. Piper, J.D.A., Moore, J.M, Tatar, O., Gürsoy H. and Park, R.G. 1996, Paleomagnetic study of crustal deformation across and intracontinental transform the North Anatolian Fault Zone in North Turkey. *Paleomag. And Tecto. Of the Medite. Region, Geol. Soci. Speci.Pub. No:105.pp.299-310.*
15. Püskülcü, S. 1996, Attenuation of Lg phase in Eastern Turkey, M.Sc. thesis, in Geophy. Eng. Bogaziçi University.
16. Sertçelik F. 1999, Magnitude and attenuation analysis of local earthquake. International conference on Earthquake Hazard and risk in the mediterranean region, 18-22 october 1999 s:117.
17. Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. 1984, Doğu Anadolu'nun Neotektoniği ve ilgili Magnetizma, Ketin Sempozyumu. 149-162.
18. Şengör, A.M.C. and Kidd, W.S.F. 1979, Post-collision tectonics of the Turkish-Iranian plateau and comparision with Tibet, *Tectonop.55,361-376.*
19. Tittman, B.R., Housley, R.M., Alers, G.A. and Cirilin, E.H.1974, Internal friction in rocks and its' relationship to volatiles on the moon, In Lunar Science Conf., 5th Proc.,*Geochim. et.Cosmochim. Acta, suppl. 5, v.3, p. 2913-2918.*