



The Spectral Decay Parameter κ (kappa) for the Near Site Events in Van Region

Yesim Biro¹, Bilge Siyahi² and Bulent Akbas¹

¹ Gebze Technical University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Gebze 41400 Kocaeli

² Earthquake Engineering Association of Turkey, Cankaya 06650 Ankara

ORCID: 0000-0002-4165-9085, 0000-0002-6947-4146, 0000-0003-4846-750X

Keywords

κ (kappa), stochastic simulation of strong ground motion, host-to-target adjustments of GMPEs

Highlights

- * Spectral decay parameter, kappa, is evaluated for each record at Van region AFAD stations
- * The same parameter is also estimated for each record for a chosen seismic Quality Factor (Q)
- * κ_0 (kappa value at station location) is estimated from the previous calculations

Acknowledgements

The data is provided from Disaster and Emergency Management Authority (AFAD).

Aim

Aim of the study is to evaluate spectral decay parameter for Van Region.

Location

Study area is located in and around Van city.

Methods

Anderson and Hough (1984) method is used to evaluate kappas for the recorded events at AFAD stations.

Results

With the conditions set to evaluate kappa for the region, only one AFAD station could be evaluated. For regional studies, it is recommended to have more stations installed. It was observed that the uncertainties in kappa were higher for smaller earthquake recordings.

Supporting Institutions

Gebze Technical University, Earthquake Engineering Association of Turkey.

Manuscript

Research Article

Received: 27.04.2020

Revised: 19.05.2020

Accepted: 21.05.2020

Printed: 30.06.2020

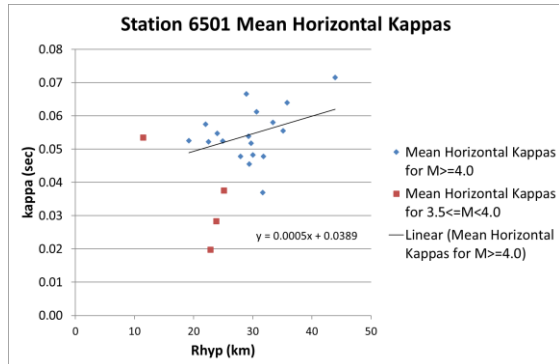
DOI

10.46464/tdad.727847

Corresponding Author

Yesim Biro

Email: yesimbiro@gtu.edu.tr



Figure

Mean Horizontal Kappas at Station 6501 in Van city center

How to cite

Biro Y., Siyahi B., Akbas B., 2020. The Spectral Decay Parameter κ (kappa) for the Near Site Events in Van Region, Turk. J. Earthq. Res. 2 (1), 1-13, <https://doi.org/10.46464/tdad.727847>



Van Bölgesinde Yakın Saha Deprem Hareketlerinde Spektral Sönüm Parametresi, κ (kappa)

Yeşim Biro¹, Bilge Siyahi² ve Bülent Akbaş¹

¹ Gebze Technical University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Gebze 41400 Kocaeli

² Earthquake Engineering Association of Turkey, Cankaya 06650 Ankara

ORCID: 0000-0002-4165-9085, 0000-0002-6947-4146, 0000-0003-4846-750X

ÖZET

Anderson ve Hough (1984) tarafından ilk kez kullanılmaya başlanan spektral sönüm parametresi, κ (kappa), birçok uygulamada gittikçe artarak kullanılmaktadır ve bir istasyonda kaydedilmiş kuvvetli yer hareketinin spektral alanda yüksek frekanstaki eğimini ifade eder. Geçtiğimiz son yıllarda, κ tahmini ve deprem tehlike analizi sonuçlarına etkisi üzerine birçok yaklaşım geliştirilmiştir. κ 'nın zemin koşullarına bağlı olarak, yüksek frekans aralığındaki yer hareketinde deprem tehlike değerlerinde 3 hatta zemine bağlı olarak 6 kat artış gözlemlenmiştir. Bu parametrenin önemi sebebiyle Van Bölgesi için κ tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada, κ tahminleri için Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Kuvvetli Yer Hareketi gözlem ağına ait (AFAD) Van bölgesindeki istasyonlarından alınan ivme-ölçer deprem kayıtları kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler

κ (kappa), stokastik simülasyon yer hareketi, GMPE'lerin (yer hareketi tahmin denklemleri) kaynak-hedef düzeltmeleri

Öne Çıkanlar

- * Van Bölgesi için yakın AFAD istasyonlarında kaydedilmiş kuvvetli yer hareketleri üzerinden spektral sönüm parametresi ölçüldü
- * Aynı parametre her deprem kaydı için seçilen bir sismik kalite faktörü (Q) ile hesap edildi
- * Elde edilen κ sonuçlarından κ_0 (istasyonun bulunduğu yerdeki κ) bulundu

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 27.04.2020
Düzeltilme: 19.05.2020
Kabul: 21.05.2020
Basım: 30.06.2020

DOI

10.46464/tdad.727847

Sorumlu yazar

Yeşim Biro
Eposta:
yesimbiro@gtu.edu.tr

The Spectral Decay Parameter κ (kappa) for the Near Site Events in Van Region

Yesim Biro¹, Bilge Siyahi² and Bulent Akbas¹

¹ Gebze Technical University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Gebze 41400 Kocaeli

² Earthquake Engineering Association of Turkey, Cankaya 06650 Ankara

ORCID: 0000-0002-4165-9085, 0000-0002-6947-4146, 0000-0003-4846-750X

ABSTRACT

The spectral decay parameter κ (kappa) is increasingly used in many applications since it is first introduced by Anderson and Hough (1984) and basically measures the decay of high-frequency ground motion amplitudes for each ground motion acceleration time history record at one location. During the past years, multiple approaches were developed for its estimation and effect on seismic hazard calculations, where it was observed that κ can have an impact in terms of 3 to 6 times increased seismic hazard values for high-frequency ground motions depending on the site conditions. In this study, the strong ground motion recordings from the Disaster and Emergency Management Authority (AFAD) stations in Van region are taken into account for κ evaluations.

Keywords

κ (kappa), stochastic simulation of strong ground motion, host-to-target adjustments of GMPEs

Highlights

- * Spectral decay parameter, κ , is evaluated for each record at Van region AFAD stations
- * The same parameter is also estimated for each record for a chosen seismic Quality Factor (Q)
- * κ_0 (κ value at station location) is estimated from the previous calculations

Manuscript

Research Article

Received: 27.04.2020
Revised: 19.05.2020
Accepted: 21.05.2020
Printed: 30.06.2020

DOI

10.46464/tdad.727847

Corresponding Author

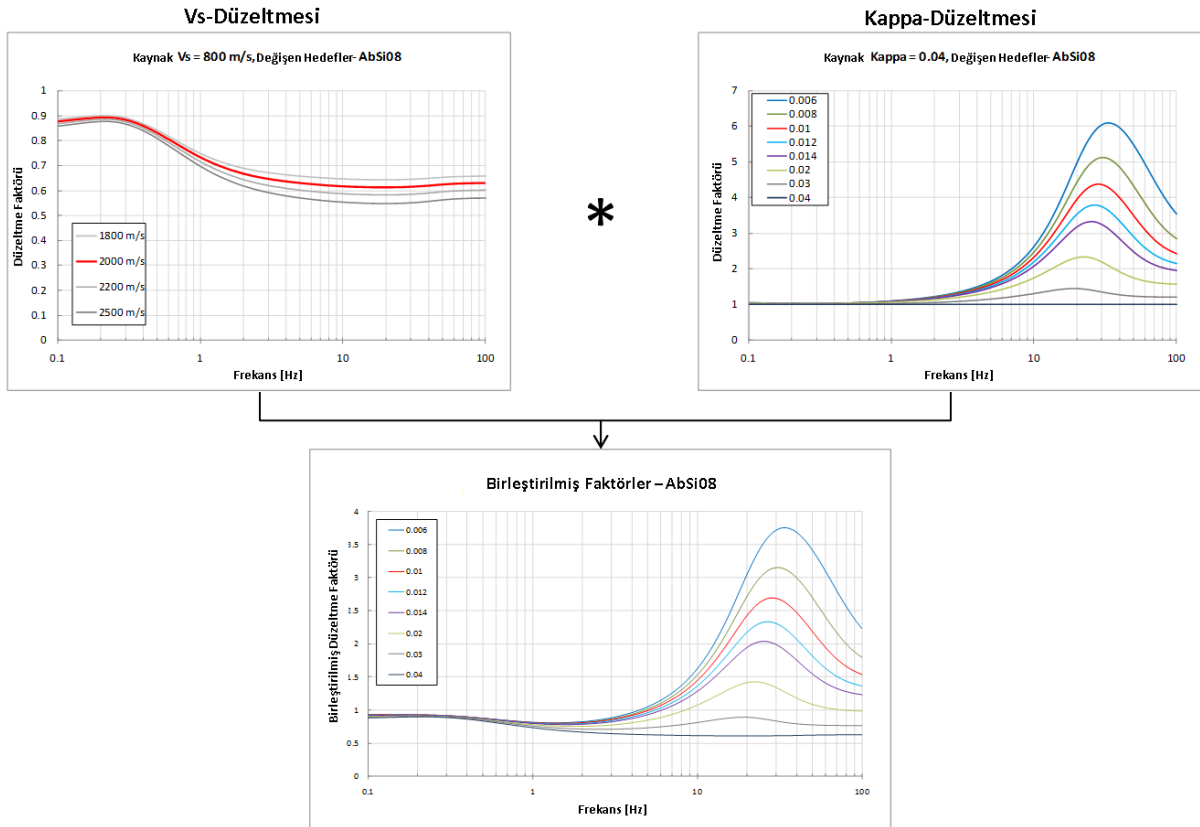
Yesim Biro
Email:
yesimbiro@gtu.edu.tr

1. GİRİŞ

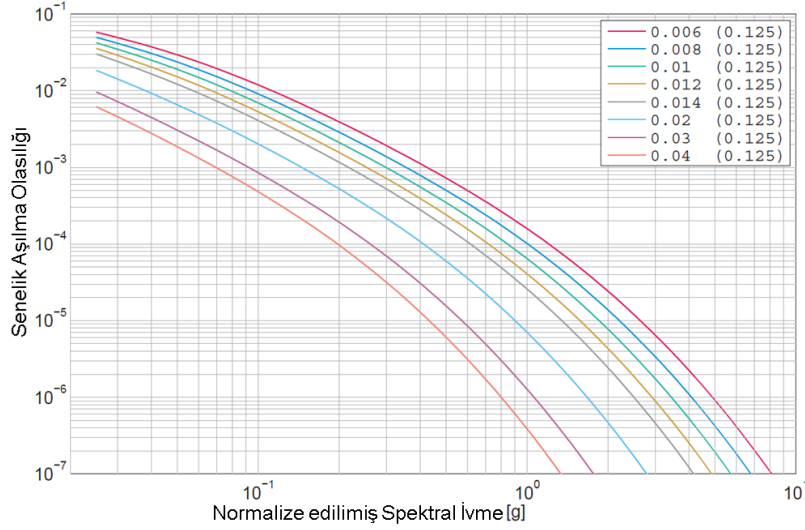
Spektral sönüm parametresi, κ (kappa), ilk olarak Anderson ve Hough (1984) tarafından öne sürülmüştür ve bugüne kadar yayılım ve saha etkilerini gidermek, ivme yer hareketi simüle etmek, yüksek frekanslarda sönümlenmeyi düzeltmek ve yer hareketi tahmin denklemlerini (GMPE) kaynak-hedefe göre düzeltmek gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

κ en basit anlatımıyla bir istasyonda kaydedilmiş kuvvetli yer hareketinin spektral alanda yüksek frekanstaki eğimini ifade eder. Seçilen her deprem için istasyon bazında κ hesap edildikten sonra mesafeye göre dizilmiş bu κ değerlerine doğrusal bir modelle κ_0 (istasyonun bulunduğu yerde, deprem merkez üssünün sıfır km uzaklıkta olduğu kappa) hesap edilir.

Son zamanlarda κ_0 parametresinin deprem tehlikesi ve riski analizlerinde yüksek etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek hâkim frekanslı veya düşük hâkim periyodlu kritik önemi olan yapıların olasılıksal deprem tehlikesi değerlendirmelerinde yer hareketi tahmin denklemleri (GMPE) kaynak bölgeden hedef bölgeye düzeltilerek uyumlandırılmaktadırlar (Biro ve Renault 2012, Renault ve diğ. 2013, Kotha ve diğ. 2017). Biro ve Renault (2012) κ_0 düzeltmelerinin, hedef κ_0 değerlerine bağlı olarak, deprem tehlikesi sonuçlarında 6 kat fazlalığa kadar tehlikede artış olabileceğini göstermişlerdir (Şekil 1). Yüksek frekanslı yer hareketinin spektral sönümü az oldukça (düşük değer κ_0), sismik tehlike artmaktadır (Şekil 2). Bu etkinin en iyi gözlemlendiği aralık, yüksek frekans bölgesinden maksimum yer ivmesi (PGA) değerine kadar olan bölgededir.



Şekil 1: Abrahamson ve Silva (2008) yer hareketi tahmin ilişkisi için değerlendirilmiş Vs ve Kappa düzeltme fonksiyonları için örnek (Biro ve Renault 2012)



Şekil 2: İsviçre’de örnek bir hedef yerel lokasyon için çeşitli kappa değerlerinin 33 Hz’teki tehlike hassasiyet analizi. Kaynak κ_0 0.04 s ve kaynak $V_{s30} = 800$ m/s seçilmiştir. Hedef $V_{s30} = 2000$ m/s iken hedef kappa değerleri 0,006 s – 0,04 s arasındadır. (Biro ve Renault 2012)

Bir başka kappa uygulaması olarak stokastik simülasyonlarla elde edilen azalım ilişkilerinde, yakın mesafedeki yüzeydeki azalım için, o bölgedeki zemin koşullarına göre atanmış κ_0 değerleri kullanılır. Bu sebepten dikkate alınan zemin özelliklerini ifade eden kappa değerlerini seçmek önemlidir.

Genellikle zeminin kaya sönümlenme karakteristiği ve kayma dalgası hızı profiline bağlı olan zemin etkileşimi uygulamalarında, zemine özel κ_0 etkisinin entegrasyonu, kaya-zemin ilişkisini daha iyi tanımlamak için gerekli görülmektedir. Nitekim değişik κ_0 değerleri simülasyonlarda yüksek yer hareketi farklılıkları göstermektedir (Laurendeau ve diğ. 2013).

2. AMAÇ VE YÖNTEM

Giriş bölümünde bahsedilen κ_0 uygulamaları için çeşitli κ_0 hesap ve sınırlama yöntemleri geliştirilmiştir ve bunlar arasında sonuca bakıldığında κ_0 değerlerinde farz edilen sınırlamalara ve üretilen yeni yöntemlere bağlı olarak farklılıklar görülmüştür. Tahmin edilen yer hareketi ve tehlike sonuçları üzerindeki büyük etkisi sebebiyle, elde edilecek sonucun belirsizlik ve hata payını düşürmek için, κ_0 hesaplarının sistematik açıdan aynı şekilde hesap edilmesi ve karşılaştırılması önem taşımaktadır.

Biro ve diğ. (2012)’den sonra Ktenidou ve diğ. (2016), kappa tahminlerinde çoğunlukla kullanılan dört yöntemi incelemiş ve bu konuda bir PEER raporu sunmuştur. Bu raporda deprem iç merkez uzaklıklarının (R_{hyp}), eldeki deprem kayıtlarının çokluğuna göre, 20 km’den daha az olmasını tavsiye etmişlerdir. Bunun sebebi olarak κ değerlerinin birbirinden çok farklı bulunmasına etkisi olarak uzak depremlerdeki frekansa bağlı yayılım zayıflamasını ($Q(f)$) göstermişlerdir. Fourier genlik spektrumu (FAS), frekansa bağlı $Q(f)$ ’e göre düzeltilmediği müddetçe uzak depremleri kappa hesap ederken analizlere katmamak gerektiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmalarında yazarlar, batı ABD için maksimum deprem kaynak uzaklığını 20-30 km, doğu ABD için ise 50-100 km arası almışlardır. Aynı zamanda düşük büyüklükteki depremler için de bir sınırlama getirmişlerdir. Bulunan değerler arasında farklılıklar buldukları için 1993 senesinde yayınlanan EPRI raporundaki verilerin, tüm dünyadaki kaya zeminde kaydedilmiş deprem kayıtları ile birlikte, seçilen aynı yöntem ile tekrar hesap edilmesi için yeni

bir proje başlatılmasını planlamışlardır. Bu çalışma 2017 senesinde başlamış ve hesapların zaman alması sebebiyle tahminen 2023 senesine kadar uzatılmıştır (SIGMA-2 Kappa Projesi).

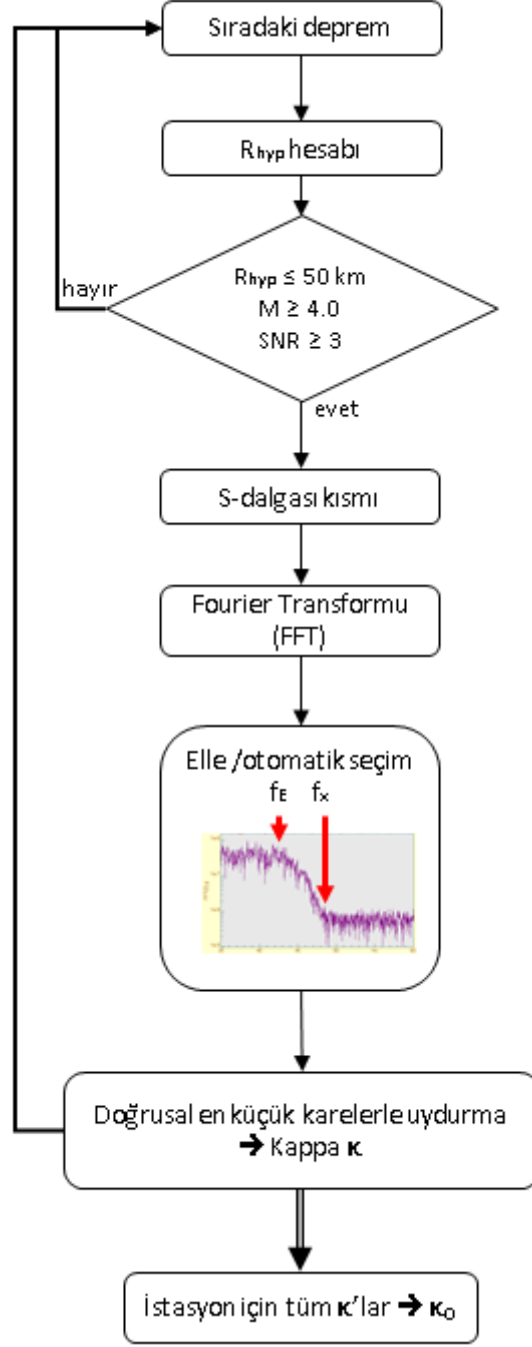
Ktenidou ve diğ. (2017), κ_0 tahminlerindeki belirsizlikler üzerine yaptıkları çalışmada maksimum kullanılabilir frekans, dikkate alınabilecek en düşük deprem büyüklüğü ve gerilme düşümü parametrelerinde, özellikle küçük depremlerdeki gerilme düşümündeki kappa farklılıkları problemini çözemediklerini kaydetmişlerdir.

Türkiye için bu konuda yapılan çalışmalardan biri olan Askan ve diğ. (2014) kuzeybatı Türkiye bölgesindeki kuvvetli yer hareketi kayıtlarından zemine bağlı bölgesel kappa modeli türetilip, bu değerleri simulasyonda kullanarak 1999 Gökaya (M_w 5.2) ve 1999 Düzce (M_w 7.1) depremleriyle karşılaştırmışlar ve modellerini tasdiklemişlerdir. Kullandıkları veri kümesindeki depremler 200 km kaynak uzaklığı arasında ve 142 depremin 60 adeti $3.0 < M_w < 4.0$ aralığında olmak kaydıyla $3.0 < M_w < 6.0$ aralığındadır. Zemin özelliklerine göre sınıflandırıldığında aynı zemin özelliği kategorisine uyan istasyon kayıtlarının tamamı dikkate alınarak, bahsedilen zemin özelliğindeki κ_0 değerlerine ulaşılmıştır. Bu çalışmada deprem büyüklüğüne göre herhangi bir belirsizlik gözlemlenmediği belirtilmiş, ancak veri kümesi genişledikçe buna rastlanabilme olasılığı göz ardı edilmemiştir.

Kurtulmus ve Akyol (2015) orta-batı Türkiye bölgesinde deprem kaynak uzaklığı 3.5 km ile 205 km arasında gerçekleşmiş, $2.0 < M_L < 5.6$ aralığındaki küçük ve orta büyüklükteki depremleri analiz etmişlerdir. Spektrum üzerinde genelleştirilmiş ters çözüm tekniği (GIT) kullanarak zemindeki etkileşimleri incelemişlerdir. Aynı zamanda yatay-düşey spektral oranları (HVSR) hesap ederek GIT metodu sonuçları ile karşılaştırma yapmışlardır. Bunun sonucunda HVSR değerlerinin zemin etkileşimi bakımından daha düşük değer verdiğini gözlemlemişlerdir. κ hesaplamaları için bölgesel Q kaynak yayılım değeri seçmişler, buna göre spektrumlarda düzeltme uygulamışlar ve bu sebeple deprem kaynak mesafesine bağlı çok düşük belirsizlik bulduklarını ifade etmişlerdir. Hesaplamalarda 27 ayrı istasyonda elde edilen κ_0 değerlerinin ortalama değerini almışlardır.

Tanırcan ve Dikmen (2018) Boğaziçi'nin batı bölgesinde bulunan üç kuyu içi ile ana kayada bulunan iki ivme ölçerden elde edilen kayıtlar üzerinde ortalama yatay yönde κ hesaplamışlardır. Kayıtlarda bulunan depremler 200 km kaynak uzaklığına kadar ve $3.0 \leq M_L \leq 4.8$ aralığındadır. Yazarlar sabit bir Q değerini kullanırken bulunan κ değerlerinin frekansa bağlı $Q(f)$ kullanıldığından daha düşük değerde çıktığının dikkate alınmasını not etmişlerdir. Buna ek olarak deprem kaynak uzaklığının artması ile κ değerlerindeki belirsizliklerin arttığını ve buna Q etkisinin sebep olduğunu vurgulamışlardır. κ_0 değerlerini her bir istasyon için hesap ettikten sonra sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçların aynı zamanda sert kaya zeminler için akademik yayınlarda yayınlanmış $V_{s30} - \kappa_0$ ilişkileriyle uyumu incelenmiştir.

κ değeri, en basit anlamıyla Şekil 3'te gösterildiği gibi, ivme deprem kaydının doğrusal-logaritmik uzayda yüksek frekanstaki genliklerinin doğrusal azalımının ölçümüyle elde edilir.



Şekil 4: Her bir kuvvetli yer hareketi doğrusal bileşeni için kappa hesaplaması akış diyagramı

Kullanılabilir kuvvetli yer hareketi kayıtları yukarıda belirtilen kriterlere uygun olduğunda, kaydın S-dalgası kısmı gözlemlenerek seçilmiş ve κ hesaplamaları bu bölgenin, her bir yön kaydı için ayrı ayrı, Fourier transfer fonksiyonu üzerinde yapılmıştır. Fourier genlik spektrumunun doğrusal-logaritmik uzayda, yüksek frekans bölgesinde sönümlenmeye başladığı frekans olan f_E ve bu sönümlenmenin bittiği frekans olan f_x arasında kalan genliklere doğrusal en küçük karelerle uydurma yapılması ile κ değerleri elde edilmiştir. Veri seti incelenirken hem tüm istasyon ve deprem kaydı için hem aynı f_E , f_x aralığı hem de her kaydın davranışına bağlı olarak spektruma en iyi uyan f_E , f_x değerleri belirlenerek hesaplamalar yapılması üzerine ihtiyaç gözlemlenmiştir.

Eğer iki yatay bileşende elde edilen κ değerleri arasındaki fark %20'yi geçmiyorsa, her bir deprem kaydı için, ortalama κ değeri hesap edilmiştir, geçiyorsa bu değerler dikkate alınmamıştır.

Teorik S-dalgası ivme spektrumunu ω^2 kaynak spektrumu kullanarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Anderson ve Hough 1984):

$$A(f, r) = S(f) \frac{e^{-\pi\kappa f}}{R} \quad (2)$$

κ değerleri hem 1 nolu hem de 2 nolu eşitlikle ayrı ayrı hesap edilmiştir. 2 nolu eşitlikte kullanılan $S(f)$ aşağıdaki eşitliklerle elde edilmiştir:

$$S(f) = C \cdot M_0 \frac{(2\pi f)^2}{1+(f/f_c)} \quad (3)$$

ve

$$C = \frac{F_s R_{\theta, \varphi}}{4\pi\rho\beta^3} \quad (4)$$

3 ve 4 nolu eşitlikte tanımlanan f_c köşe frekansını, $F_s = 2$ serbest yüzey faktörünü, $R_{\theta, \varphi} = 0.63/\sqrt{2}$ yatay ortalama karekök ışınma örüntüsü faktörünü, $\rho = 2.7 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğu ve $\beta = 3.3 \text{ km/s}$ S-dalgası hızını ifade etmektedir.

Her bir kuvvetli yer hareketi kaydı için seçilen f_E frekansının köşe frekansı f_c 'den büyük olduğunu kontrol etmek için aşağıdaki yöntem takip edilmiştir (Andrews 1986):

$$f_c = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{I_V}{I_D}} \quad (5)$$

Burada sırasıyla

$$I_V = \int_{f_E}^{f_x} V^2(f) df \quad (6)$$

ve

$$I_D = \int_{f_E}^{f_x} D^2(f) df \quad (7)$$

şeklinde tanımlanmıştır. $V(f)$ hız, $D(f)$ yerdeğiştirme spektrumlarını ifade eder.

Son olarak seçilen her kuvvetli yer hareketinin üç bileşeni için hesap edilen κ değerlerinin yatay bileşenleri ortalaması ve düşey bileşenleri merkez üssüne uzaklığına göre istiflenmiştir. İstasyonun bulunduğu yerdeki kapa, κ_0 , doğrusal bir ilinti ile yaklaşık olarak aşağıdaki 8 nolu eşitlik ile bulunmuştur. 9 nolu eşitlik doğrudan hesap yönteminde $Q=1200$ alınarak kullanılmıştır.

$$\kappa = \kappa_0 + \kappa_R R_{hyp} \quad (8)$$

$$\kappa_R = 1/\beta Q \quad (9)$$

3. VERİ

Veri seti Van bölgesinde 1984 senesinden Nisan 2018'e kadar AFAD tarafından kaydedilmiş kuvvetli yer hareketlerinden oluşmaktadır. Yukarıda bahsedilen seçim kriterlerine uyumu açısından 4 istasyon belirlense de iç merkez uzaklıkları, R_{hyp} , hesap edildikten sonra geriye kalan $M_L \geq 3.5$ büyüklüğündeki kuvvetli yer hareketi kaydı adedi anlamlı bir κ hesabı veremediğinden elde sadece Van merkezdeki 6501 kodlu istasyon kalmıştır. Van merkezdeki 1302 kodlu istasyonda 2011'de kaydedilmiş sadece iki deprem kaydı ve yine Muradiye'deki 6503 kodlu istasyonda da bu tarihli 4 deprem kaydı bulunmaktadır. Bu da aslında deprem riski olan bölgelerde değişik zemin çeşitleri üzerine daha fazla istasyon kurulmasının önemini göstermektedir. İstasyonda kurulan deprem ölçer aletlerinin tek görevi depremleri kaydedip doğru merkez üssü ve büyüklüğünü tespit etmek olmayıp, depremlerin zemin koşullarına da bağlı olarak yapılar etkisini belirlemek açısından çok önemli veri girdileri vermektedirler. Çalışmanın başında Van Bölgesi hedeflenmiş olsa da, alet ve kayıt yetersizliği sebebiyle sadece 6501 kodlu istasyondaki $V_{s30}=363$ m/s koşulunda κ_0 sonucuna ulaşılmıştır.

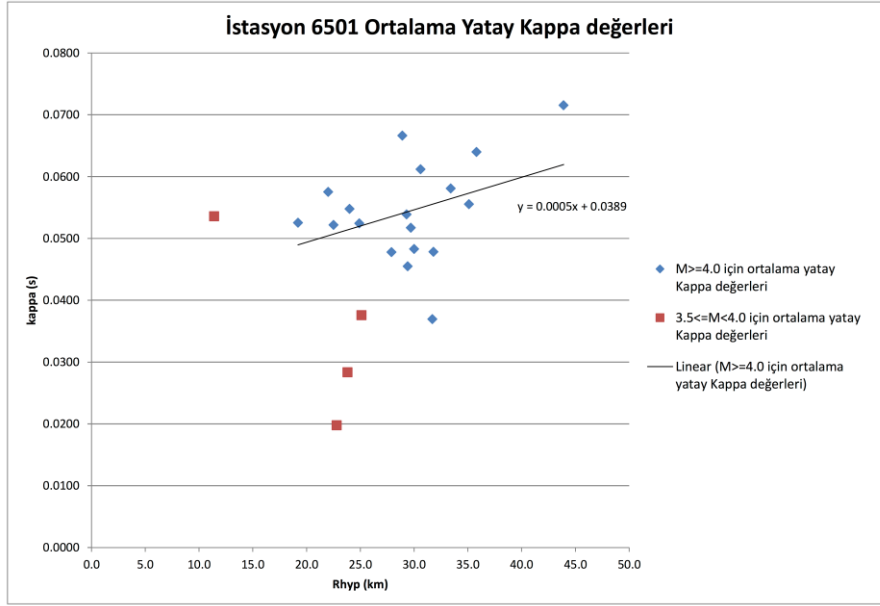
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bahsedilen 6501 kodlu istasyonda $f_E=2$ Hz ile $f_x=20$ Hz arasında yukarıda bahsedilen yöntemler ile her yön için ham veri üzerinde filtre uygulanmadan κ hesabı yapılmıştır. Yatay iki yönlerdeki bulguların birbiriyle arasındaki fark %20'yi geçmiyorsa, ortalamaları alınarak yatay κ verisi elde edilmiştir. 9 nolu eşitlik kullanılarak doğrudan hesap edilen κ_0 sonuçları için S-dalgası hızı $\beta=3.3$ km/s ve sabit bir yayım azalımı $Q=1200$ varsayılmıştır. Elde edilen bulgular Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: 6501 kodlu istasyon için elde edilen κ ve κ_0 değerleri

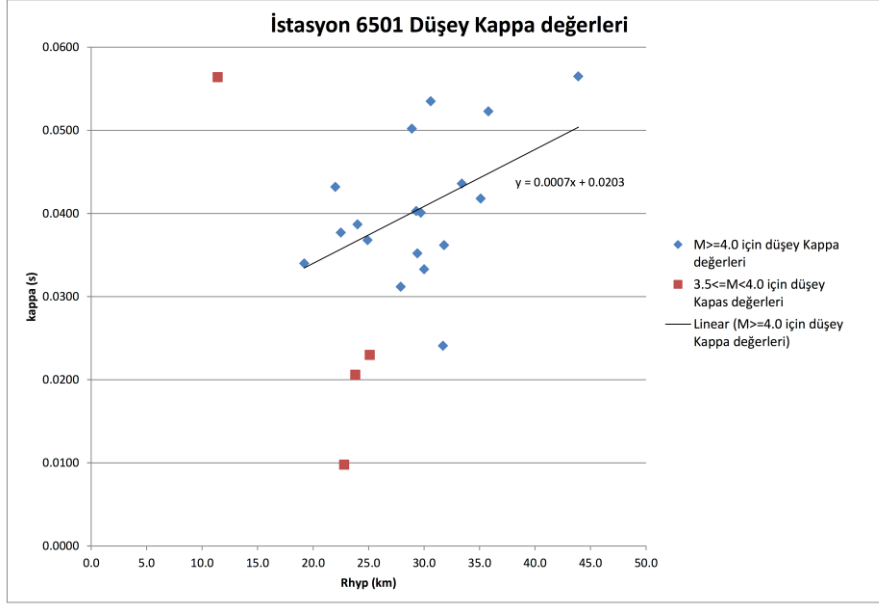
Deprem kaydı	M_L	R_{hyp} (km)	κ NS (s)	κ EW (s)	κ UD (s)	Ortalama Yatay κ (s)	Hesap Edilen κ_0 (s)
20111025145506_6501	5.5	43.9	0.070	0.073	0.057	0.072	0.061
20111024152806_6501	4.8	35.8	0.059	0.069	0.052	0.064	0.063
20111026031626_6501	4.8	29.4	0.040	0.051	0.035	0.046	0.044
20111024082826_6501	4.7	30.0	0.046	0.050	0.033	0.048	0.047
20111028094755_6501	4.5	35.1	0.053	0.058	0.042	0.056	0.054
20111026151447_6501	4.4	28.9	0.063	0.070	0.0502	0.067	0.066
20111024124924_6501	4.3	22.5	0.046	0.058	0.0377	0.052	0.051
20111025165616_6501	4.3	33.4	0.053	0.063	0.0436	0.058	0.057
20111026120525_6501	4.3	27.9	0.048	0.048	0.0312	0.048	0.047
20111026032713_6501	4.2	29.7	0.044	0.060	0.0401	0.052	0.051
20111028084808_6501	4.2	30.6	0.055	0.068	0.0535	0.061	0.060
20111028195949_6501	4.2	24.9	0.047	0.058	0.0368	0.053	0.051
20111024103024_6501	4.1	22.0	0.051	0.065	0.0432	0.058	0.057
20111027052918_6501	4.1	31.7	0.029	0.045	0.0241	0.037	0.036
20111028002532_6501	4.1	24.0	0.049	0.061	0.0387	0.055	0.054
20111025232527_6501	4.0	29.3	0.050	0.058	0.0403	0.054	0.053
20111026084927_6501	4.0	19.2	0.050	0.056	0.0340	0.053	0.052

6501 kodlu istasyonda bulunan κ değerlerinin deprem uzaklıklarına göre dizilimi Şekil 5 ve 6'da verilmiştir. $3.5 \leq M_L < 4.0$ depremleri için bulunan sonuçlar arasındaki yüksek farklılıklar sebebiyle bunlar κ_0 hesaplamalarına katılmamıştır. Hesaba katılmayan küçük deprem κ değerleri Şekil 5 ve 6'da kırmızı nokta olarak gösterilmiştir. Deprem uzaklıklarına bağlı olarak yapılan doğrusal uyumlamadan elde edilen κ_0 değeri yatay yöndeki hareketler için 0.039 s (Şekil 5), düşey yöndeki hareketler için 0.020 s'dir (Şekil 6). Bu literatürde elde edilen yatay-düşey κ_0 oranları ile uyumludur.

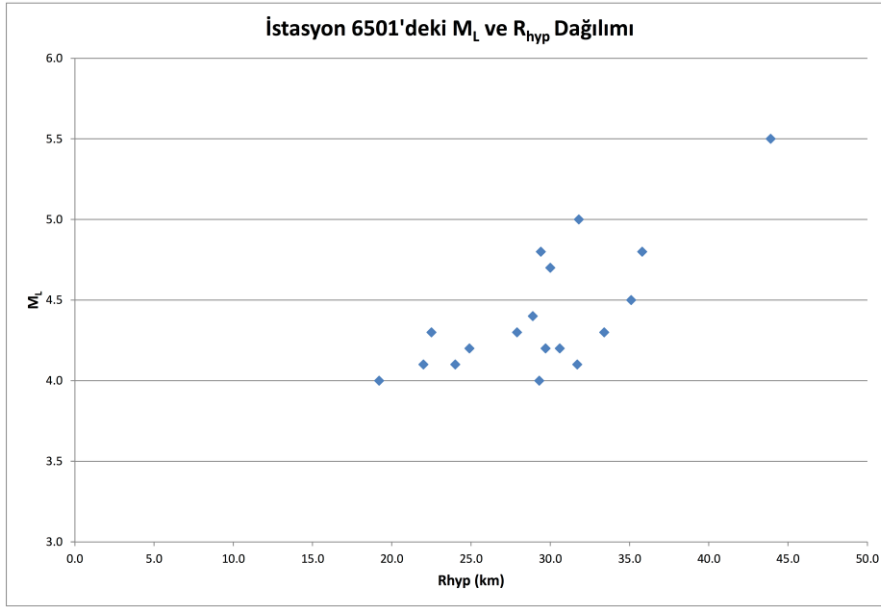


Şekil 5: 6501 kodlu istasyondaki ortalama yatay yöndeki κ eğilimi. Sonuç ortalama yatay κ_0 değeri 0.039 s

Tablo 1'deki sonuçlardan açıkça görülmektedir ki, hesap yönetimi ile her bir deprem kaydı için elde edilen κ_0 değerleri dikkate alınamaz, zira bu değerler 17 deprem kaydı için 0.036 ila 0.066 s arası değişim göstermektedir. κ_0 parametresi değerlerinin sismik tehlike analizi sonuçlarına etkisi göz önünde bulundurulduğunda belirsizliklerin bu denli büyük mertebede oluşu bu sonuçların kullanımına müsaade etmemiştir. Bu belirsizliklerin sebebi yeterince deprem kaydı olmayışından maksimum merkez üssü uzaklığının 50 km alınması olabilir. Eğer yeterli düzeyde yakın deprem kaydı (20 km ve daha az uzaklıktaki yer hareketleri) bulunmuş olsaydı, hesap yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki belirsizlik azalmış olacaktı. Maalesef bu istasyon için $R_{hyp} \leq 20$ km uzaklıkta kaydedilmiş ve $M_L < 4.0$ büyüklüğünde tek deprem bulunmaktadır (Şekil 7).

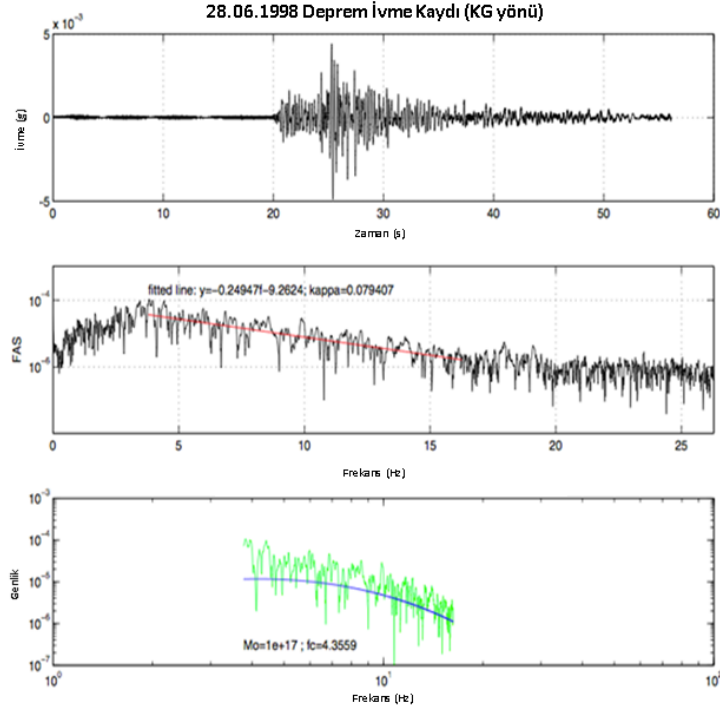


Şekil 6: 6501 kodlu istasyondaki düşey yöndeki κ eğilimi. Sonuç düşey κ_0 değeri 0.020 s



Şekil 7: 6501 kodlu istasyonda kaydedilmiş seçilmiş depremlerin $M_L - R_{hyp}$ dağılımı

Sabit olarak seçilen $f_E=2$ Hz ile $f_x=20$ Hz değerleri yerine her bir kuvvetli yer hareketi kaydının her üç bileşeni için kontrol edilerek kayda uygun f_E ve f_x değerleri girilmesi için çalışma başlatılmıştır (Şekil 8). Ancak yeterli veri olmaması sebebiyle bu uygulamadan daha büyük veri setinin olduğu bölgelerde kullanılmak üzere vazgeçilmiştir. İleride daha fazla veri olması durumunda bu uygulama gerçekleştirilecektir. 6501 kodlu istasyon için şimdilik $f_E=2$ Hz - $f_x=20$ Hz aralığı yeterli güvenilirlikte sonuç vermektedir.



Şekil 8: Elle gözlemlenerek seçilmiş f_E , f_x değerlerine bir örnek. Burada seçilen $f_E=3$ Hz ve $f_x=16$ Hz'dir.

5. SONUÇLAR

Van bölgesinde bulunan AFAD istasyonları ve çalışmaya uygun olan veri dağılımı yukarıdaki “Veri” ve “Bulgular” bölümlerinde ele alınmıştır. Bu istasyonlardaki verilerden sadece $R_{hyp} \leq 50$ km ve $M_L \geq 4.0$ koşullarını sağlayanlar seçildiğinde yeterli veri olmadığı görülmüştür. $3.5 \leq M_L < 4.0$ gibi küçük depremler için oluşan büyük belirsizlikler, Ktenidou ve diğ. (2017) yayınında bulunanlarla örtüşmektedir. Bu sorun daha literatürde de çözülemediği için, bu aralıkta depremler hesaplara katılmamıştır. Bulunan değerler 6501 kodlu istasyondaki zemin koşullarına uygundur.

Van bölgesinin sismik açıdan taşıdığı risk sebebiyle, deprem tehlikesi analizlerinde daha kapsamlı ve detaylı hesaplamalar yapmak bu bölgenin deprem riskini azaltmak için önemlidir. Bu sebeple κ_0 parametresinin çeşitli zemin grupları için hesap edilmesi ve tehlike analizlerinin bu zemin çeşitlerine göre kapsamlı olarak yapılması, bulunan κ_0 değerlerinin zemin etkisi incelenirken ve önemli yapılarda uygulamak için stokastik simülasyon yer hareketi üretilirken kullanılması, Van bölgesindeki kritik önem taşıyan yapılar için önem arz etmektedir. Bu sebeple çalışma kapsamı 200 km uzaklıktaki depremlere kadar genişletilecektir. Uzak depremler, bölgesel Q kaynak yayılım değeri kullanılarak düzeltilecektir.

“Veri” bölümünde de bahsedildiği üzere deprem riski yüksek olan bölgelerde ne kadar çok farklı zemin tipinde istasyon kurulursa o kadar çok veri alınacağı için mühendislik uygulamalarına uygun, riski azaltıcı uygulama yapabilme imkânı doğacaktır. Yüksek frekanslı veya düşük hâkim periyodlu yapılar genellikle stadyum, düşük katlı okul, hastane, şehir yönetim binaları, baraj yapıları gibi önemi büyük yapılardır. κ_0 en çok bu yapıları etkilediğinden bu parametrenin, zemin koşullarının da bilinmesi gerektiği bu yapılar için büyük önem taşımaktadır. Bu tip verilerin çoğaltılması ile κ_0 değerleri belirlenebilir hale gelebilecektir.

KAYNAKLAR

Abrahamson N., Silva W., 2008. Summary of the Abrahamson and Silva NGA Ground-Motion Relations. *Earthquake Spectra* (24), 67-97.

AFAD, 2018. Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı (TR-KYH), Ankara.
Erişim adresi: http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php

Askan A., Sisman F.N., Pekcan O., 2014. A regional near-surface high frequency spectral attenuation (κ) model for northwestern Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* (65), 113–125.

Anderson J., Hough S., 1984. A model for the shape of the Fourier amplitude spectrum of acceleration at high frequencies. *Bulletin of Seismological Society of America* (74), 1969-1993.

Andrews D.J., 1986. Objective determination of source parameters and similarity of earthquakes of different size. Earthquake source mechanics, *American Geophysical Monograph* (37), 259-267.

Biro Y., Renault P., 2012. Importance and impact of host-to-target conversions for ground motion equations in PSHA, Proceedings 15th World Conference of Earthquake Engineering (15WCEE), 24-28 September 2012, Lisbon-Portugal, 1855.

EPRI, 1993. Method and guidelines for estimating earthquake ground motion in eastern North America. Guidelines for Determining Design Basis Ground Motions, EPRI TR-102293, (Vol 1), Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, USA.

Kotha S.R., Bindi D., Cotton F., 2017. From ergodic to region-and site-specific probabilistic seismic hazard assessment: Method development and application at European and Middle Eastern sites. *Earthquake Spectra*, 33(4), 1433–1453.

Kurtulmus O., Akyol N., 2015. Separation of source, site and near-surface attenuation effects in western Turkey. *Natural Hazards* (77), 1515-1532.

Ktenidou O.J., Abrahamson N.A., Darragh R.B., Silva W.A., 2016. A methodology for the estimation of κ (κ) from large datasets: Example application to rock sites in NGA-East database and implications on design motions. Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), Report No: 2016/01, April 2016, CA, USA.

Ktenidou O.J., Silva W.A., Darragh R.B., Abrahamson N.A., Kishida T., 2017. Squeezing κ (κ) Out of the Transportable Array: A Strategy for Using Bandlimited Data in Regions of Sparse Seismicity. *Bulletin of Seismological Society of America* 107(1), 256-275.

Laurendeau A., Cotton F., Ktenidou O.J., Bonilla L.F., Hollender F., 2013. Rock and stiff-soil site amplification: Dependency on V_{s30} and κ_0 . *Bulletin of Seismological Society of America* 103(6), 3131-3148.

Renault P., Abrahamson N.A., Coppersmith K.J., Koller M., Roth P., Hölker A., 2013. PEGASOS refinement project probabilistic seismic hazard analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites, Summary Report, Volumes 1-5, Swissnuclear, Switzerland.

SIGMA-2 Kappa Project, France.
Erişim adresi: <http://www.sigma-2.net>

Tanircan G. and Dikmen S.U., 2018. Variation of high frequency spectral attenuation (κ) in vertical arrays. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* (113): 406-414.