

Kuzeybatı Anadolu’da Bölgesel Kappa Modeli

Fatma Nurten MAN¹, Aytegin ASKAN² ve Onur PEKCAN²

¹ Araştırma Görevlisi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

² Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

² Y. Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

Email: f.nurtensisman@gmail.com

ÖZET:

Kappa (κ), Fourier büyüklük spektrumunda yüksek frekanslardaki deimin denetlediği, spektral bir sönüm parametresidir (Anderson ve Hough, 1984). Zemin özelliklerine ait olduğu düşünülen bu bölgesel parametrenin, özellikle stokastik kuvvetli yer hareketi benzerimi için tanımlanması gereklidir. Bu çalışmada, yerel sönüm parametresini (kappa) bulmak amacıyla, ülkemizin Kuzeybatı bölgesinde yer alan 15 farklı kuvvetli yer hareketi istasyonunda kaydedilmiş, küçük ve orta büyüklükteki 142 depreme ait 174 kuvvetli yer hareketi kaydı kullanılmıştır. Yerel sönüm parametresi (kappa) hesabı için, öncelikle kuvvetli yer hareketi kayıtlarının tüm bileşenlerinden, S-dalgası bilgilerini içeren bölüm seçilir, daha sonra seçilen bu S-dalgası kayıtlarına Anderson and Hough (1984) yaklaşımı uygulanır. Bu yaklaşım temel olarak ivme kaydından elde edilen Fourier büyüklük spektrumunda üssel azalmanın bağılı olarak iki frekans arasındaki deim hesabına dayanır.

Bu çalışmada, kullanılan farklı istasyonlardaki zeminlere ait yerel sönüm parametresinin hesaplanmasının yanı sıra ikinci amacımız, bu parametrenin depremin büyüklüğü, kaydın alındığı istasyona ait zemin sınıfı ve episantral uzaklık ile arasındaki olası bağlantıları araştırmaktır. Çalışmada bu bağlantıları belirleyebilmek amacıyla, geleneksel lineer regresyon yöntemi kullanılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER : Kuzeybatı Anadolu, yerel sönüm parametresi (kappa), zemin, deprem

1. GİRİŞ

Yakın-sahaya ait spektral bir azalım parametresi olan kappa (κ), Fourier büyüklük spektrumunda yüksek frekanslardaki deimin hesaplanması ile elde edilen ve stokastik kuvvetli yer hareketi simülasyonları için anahtar parametrelerden biridir. Bu nedenle son yıllarda kappa parametresinin hesabı ilgili çalışmalar artmaktadır. Bir çok araştırmacı kappanın özellikle uzaklık, depremin büyüklüğü (magnitüd), faylanma tipi ve zemin sınıfına göre olası bağlantılarına yönelik araştırmalar yapmaktadır (Örn.: Anderson ve Hough, 1984, Bereslev ve Atkinson,1997, Motazedian ve Atkinson, 2005, Purvance ve Anderson,2003).

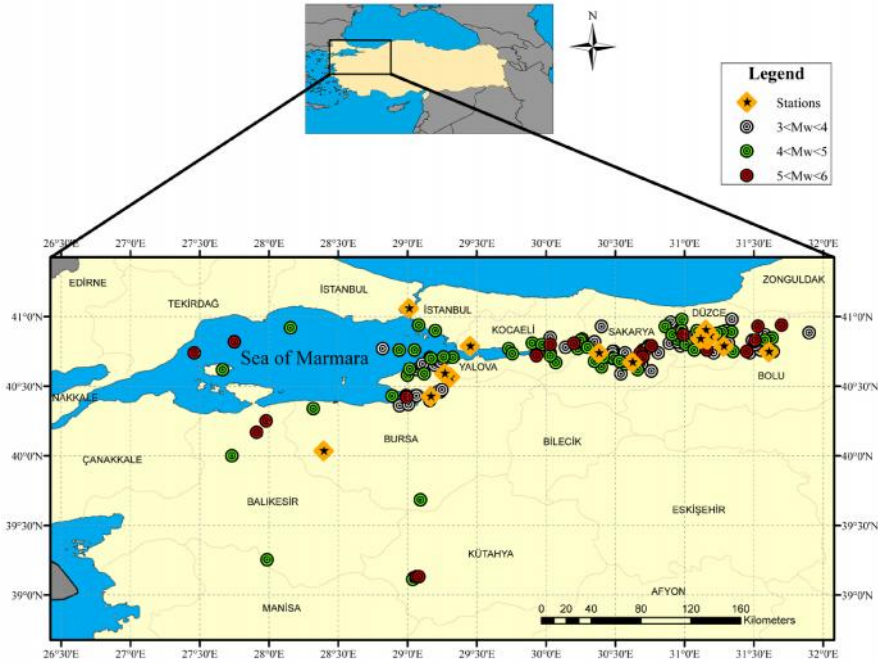
Kappa analizi için kullanılan kayıtlar, deprem odaklarına farklı uzaklıklarda olduğu için, her bir deprem dalgası, istasyona ulaşmaya kadar geçtiği ortamın fiziksel özelliklerinden etkilenir (path effect). Bu etkileri ortadan kaldırmak, simülasyonlarda yerel zemin azalım (local site attenuation) parametrelerini tanımlayabilmek açısından çok önemlidir. Bu amaçla, son yıllarda sıfır-mesafe (zero distance) kappa hesabı yapılmaya başlanmıştır (Ktenidou, 2013). Bu çalışmada, bu sebeple kappa parametrelerinin magnitüd, zemin sınıfı ve uzaklık ile bağlantısı incelenmiştir; istasyonlara ait sıfır-mesafe kappa değerleri hesaplanmıştır.

Öte yandan bu çalışmada, tüm Türkiye’nin yerel ve bölgesel kappa modellerinin çıkarılması çalışmasının temel bir parçası olup, her bölge için uygun kayıtlar seçilerek, hesaplara başlanmıştır.

2. VERİ SETİ VE KAPPA ANALİZLERİ

Bu çalışmada, toplam 15 istasyon tarafından kaydedilmiş 142 depreme ait 174 kayıt (522 bileşen), kapa parametresi hesabı için kullanılmıştır (ekil 1). Bu kayıtlar Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı web sayfasından alınmıştır (<http://daphne.deprem.gov.tr>). Ülkemizin Kuzeybatı bölgesindeki istasyonlara ait olan bu deprem kayıtlarının magnitüd aralıkları $3.0 < M_w < 6.0$ olarak seçilmiş ve Tablo 1’de her magnitüd aralığına karşılık gelen deprem ve kayıt sayıları belirtilmiştir.

Depremselliği yüksek olan bölgelerde, büyük ve yakın depremlerin oluşturduğu sismik hareketlerin zeminde doğrusal olmayan deformasyonlar yaratması sebebiyle, zemin davranışlarının küçük depremler kullanılarak hesaplanması daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır (Akyol vd., 2001). Bu nedenle bu çalışmada, zemin büyütme etkisini kapa hesaplarına katmamak adına, 1999 Kocaeli ($M_w=7.4$) ve Düzce ($M_w=7.2$) depremleri kullanılmamıştır. Bunun yanı sıra moment büyüklüğü 3’ten küçük olan deprem kayıtları, köe frekansının yeri sebebiyle hesaplarda zorluklara sebebiyet verdiği için kapa hesabı yapılırken kullanılmamıştır.



Ekil 1. Bu çalışmada kayıtları kullanılan kuvvetli yer hareketi istasyonları ve kullanılan kayıtların ait olduğu depremlerin lokasyonları

Tablo 1. Bu çalışmada kullanılan magnitüd aralıkları ve bu aralıklara karşılık gelen deprem, kayıt ve bileşen sayıları

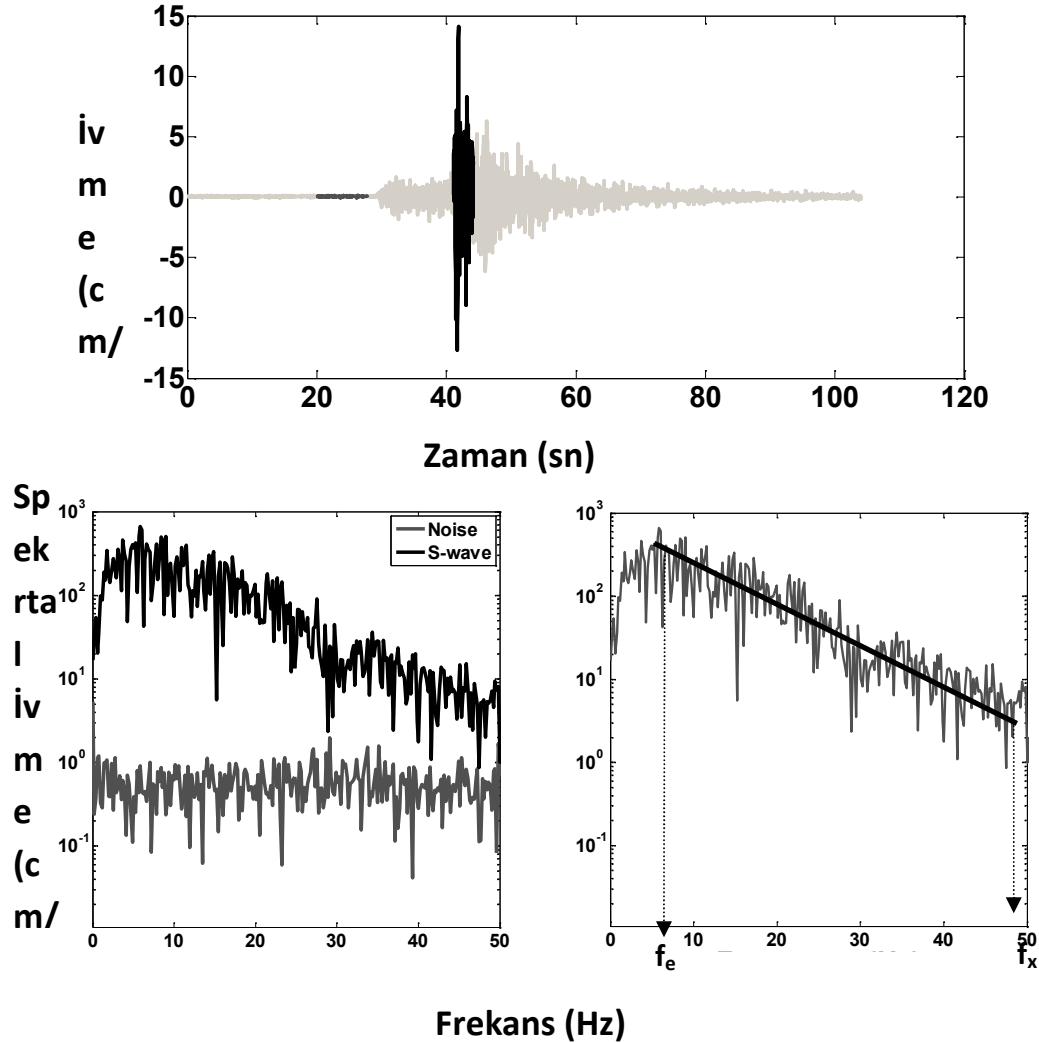
Büyüklik aralıkları (M_w)	Kullanılan Deprem Sayısı	Kullanılan Depremlere Ait Kayıtların Sayısı ve Bileşenlerinin Sayısı
3.0-4.0	60	70 (210)
4.0-5.0	61	74 (222)
5.0-6.0	21	30 (90)
Toplam	142	174 (522)

Kappa (yerel sönüm parametresi), Anderson ve Hough (1984) çalışması ışığında şu şekilde hesaplanmıştır:

$$A(f) = A_0 e^{-\pi\kappa f} \quad f > f_e \quad (1)$$

Burada spektral ivme genliği A_0 , kaynak ve deprem dalgalarının gözlem noktasında gelinceye kadar geçtiği ortamın fiziksel parametresi ve dalganın soğurulmasına (path effect) bağlıdır. Ba langıç frekansı f_e ise spektral azalımın ba langıcına karşılık gelen frekansı temsil eder.

Her bir bileşen için kappa değerini hesaplamak için, öncelikle kayıtlara taban çizgisi düzeltilmesi ve %5 Hann penceresi uygulanmıştır. Filtrelenmiş kayıttan, S-dalgasını içeren bölüm seçilmiş, Fourier büyüklük spektrumu logaritmik olarak çizdirilmiştir. Çizdirilen spektrumun linear azalım gösterdiği kısma karşılık gelen frekans f_e , bittiği noktaya karşılık gelen frekans ise f_x 'tir. Anderson ve Hough (1984), f_e değerinin yaklaşık olarak 1Hz ile 11 Hz arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada ortalama f_e değeri 4 Hz civarlarında iken f_x değerleri ise 20Hz ve 45 Hz arasında değişmektedir. Şekil 2, sözü edilen kappa değeri hesabı için örnek bir analiz göstermektedir.



Şekil 2. Kappa hesabı için örnek bir analiz

3. BÖLGESEL KAPPA MODEL

Bu bölümde, istatistiksel yaklaşımlarla kapa parametresinin uzaklık, zemin özellikleri ve deprem büyüklüğüne olası bağımlılığını incelemek ve kullanılan veri seti yardımıyla yatay ve dikey kapa için bölgeye ait bir model üretilmeye çalışılmıştır. Öncelikle, kapa veri setindeki girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi belirleyebilmek için Çoklu Doğrusal Regresyon Analizleri yapılmıştır. Daha sonra veri setinin normal dağılıma sahip olup olmadığını belirlemek için Shapiro-Wilk testi uygulanmış ve normal dağılım gözlenmiştir. Gerçekleştirilen t-testten elde edilen p değerine bakıldığında, %95’lik güven aralığında kapa parametresinin deprem magnitudüne bağımlı olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle magnitud lineer regresyon analizlerinde bağımsız değişken olarak yer almamıştır. Tablo 2’de yapılan analizlerin istatistiksel sonuçları sunulmuştur.

Çoklu-bağımlılığını (multi-collinearity) belirlemek amacıyla, zemin sınıfı ve uzaklık parametreleri için Variance Inflation Faktörleri hesaplanmış ve bu iki değişkenin bağımlı (collinear) olmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada lineer regresyon analizi uygulanabilmektedir. Bu analizler için NEHRP zemin sınıfına göre C sınıfı (85 adet) ve D sınıfı (89 adet) olmak üzere toplam 174 adet kayıt kullanılmıştır. Kapa modelleri için literatürde kullanılan genel denklem aşağıdaki gibidir (2):

$$K_{R, \text{Saha Sınıfı}} = \kappa_{0,C} \cdot \text{Saha C} + \kappa_{0,D} \cdot \text{Saha D} + C_R \cdot R \quad (2)$$

Burada, R episentral uzaklık, C_R bölgesel eğim (regional slope), $\kappa_{0,C}$ ve $\kappa_{0,D}$ ise zemin sınıfı C ve D için elde edilen sıfır-mesafe (zero-distance) kapa parametreleridir. Formülde zemin sınıfı C ise “Saha C” parametresine 1, de il ise 0 değeri verilerek hesaplama yapılmaktadır. Aynı şekilde zemin sınıfı D ise “Saha D” parametresine 1, de il ise 0 koyularak hesaplama yapılmıştır. Lineer regresyon analizi sonuçları ile Kuzeybatı Anadolu bölgesi için hesaplanan katsayılar aşağıdaki gibidir:

$$\kappa_h = 0.0377 \cdot \text{Saha C} + 0.0455 \cdot \text{Saha D} + 0.000132 \cdot R \quad (3)$$

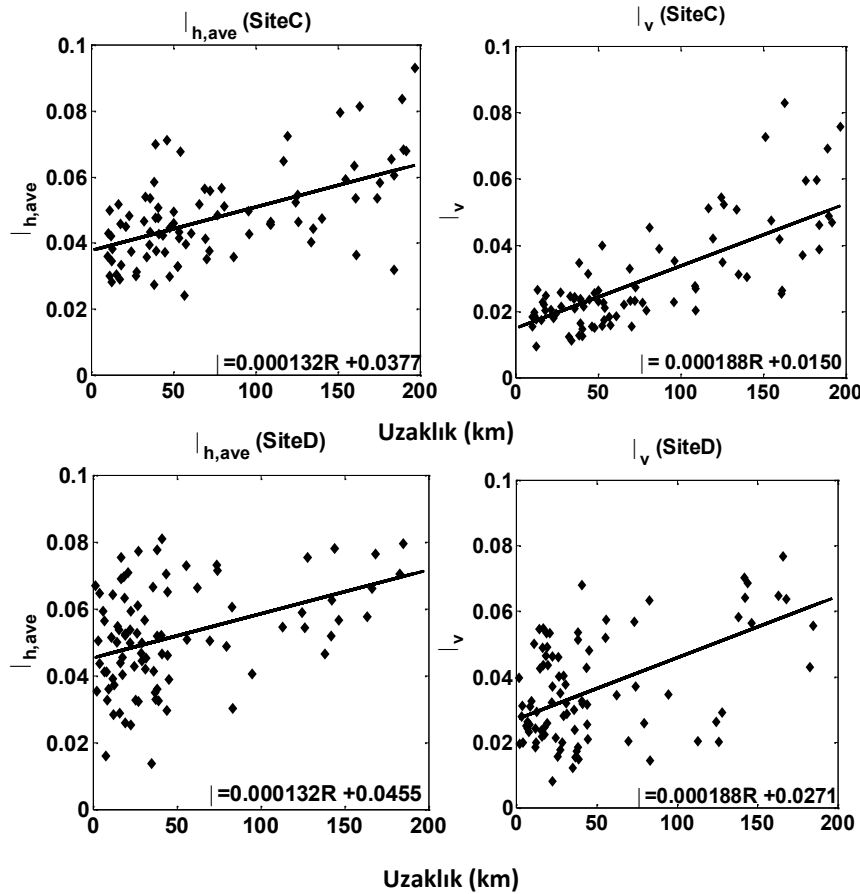
$$\kappa_v = 0.0150 \cdot \text{Saha C} + 0.0271 \cdot \text{Saha D} + 0.000188 \cdot R \quad (4)$$

Tablo 2. Kuzeybatı Anadolu veri setine uygulanan lineer regresyon analizlerine ait istatistiksel sonuçlar

Değişken (Variable)	Ortalama (Mean)	Standart Sapma (Standard Deviation)	Minimum	Maksimum
Uzaklık (Distance)	61.86	54.23	1.36	196.57
κ_h	0.04986	0.01486	0.0138	0.09315
κ_v	0.03279	0.01619	0.0081	0.0831

3.1. Zemin Sınıflarının Kappa Parametresine Etkisi

Bu bölümde, farklı zemin özellikleri için kappa değerlerinin nasıl değiştiğinin gösterilmesi amaçlanmaktadır. Veri sınıflaması, çalıtımlımız bölgelerde bulunan saha C ve saha D özelliklerini ortaya çıkarmak için tüm büyüklük aralıkları kullanılarak yapılmıştır. İncelenen zemin sınıfına göre tüm kappa değerleri uzaklığa bağlı olarak grafiklendirilip, bir doğru geçirilmiştir. Böylece, sıfır-mesafe (zero-distance) kappa değerini verir. Sıfır-mesafe kappa, istasyondaki yakın-saha spektral azalımın doğrudan bir göstergesidir ve simülasyonlarda kabuk azalımı ile ilgili olan Q parametresinden ayrı olarak belirlenmesi gereklidir. Şekil 2’de, analizlerde kullanılan kappa verileri ile saha C ve saha D için yapılan çoklu regresyon analizleri sonucu elde edilen model sunulmuştur.



Şekil 3. Saha C ve Saha D’ye ait $|_{\bar{h}}$ (sol sütun) $|_{\bar{v}}$ (sağ sütun) parametrelerinin episentral uzaklığa bağlı gösterimi ve kappa modeline ait denklemler

Şekil 3’ye göre, sıfır-mesafe yatay bileşen kaydı ile hesaplanan kappa $\kappa_{0,h}$ değeri Saha C için 0.0377 iken Saha D için 0.0455’tir. Bu iki değerden de anlaşılacağı üzere daha yumuşak olan zeminlerde daha fazla sönümleme beklenebilir. Diğer taraftan dikey bileşen kaydı ile hesaplanmıştır. Kappa değeri $\kappa_{0,v}$, Saha C için 0.0150 iken Saha D için 0.0272’dir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere, depremin büyüklüğü göz ardı edilip, sadece zemin özelliklerine göre sınıflandırma yapıldığında, daha yumuşak zemin olan D için, saha C’ye göre daha büyük

kappa de erleri hesaplanır. Bu bölgede daha önceden yapılan çalımlar incelendi inde ise (Anderson vd., 2001; Durukal, 2002, Akıncı vd., 2006, Ansal vd., 2009, Uurhan ve Askan, 2010) Saha D (D sınıfı zeminler) için elde edilen yatay-kappa ($\kappa_{0,h}$) de erleri 0.045 ile 0.054 arasında de imektedir. Buradan da anlaşılabildiği gibi bu çalıma elde edilen 0.0455 de eri benzer zemin koşulları taşıyan bölgelerde yapılan diğerk çalımlardan elde edilen kappa de erleri ile uyumaktadır. Düey-kappa ($\kappa_{0,v}$) hesabı yapılmı olan, literatürde herhangi bir çalıma olmadığı için, o de er için bir karılaştırma yapılamamıştır. Ancak, Silva (1997)'nin belirttiği gibi, bu çalıma da düey kappa de erleri yatay kappa de erlerinin yaklaşık olarak yarısı olarak elde edilmiştir. Bu gözlem, kayıtlara ait düey bileşenin yatay bileşenden daha az zemin büyütmesine maruz kaldığını göstermektedir.

3.2. Deprem Büyüklüğüne Kappa Parametresine Etkisi

Çalımanın bu bölümünde, sınıflandırma hem zemin özellikleri hem de deprem büyüklüğü göz önüne alınarak yapılmı ve Sıfır-mesafe (yatay ve düey) kappa de erleri ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 3). Bu veri seti incelendi inde herhangi bir magnitüd-bağımlılığı elde edilememiştir. Bu gözlem çalımlan veri seti ile sınırlı olabileceğinden ileriki çalımlarda farklı veri setleri incelenerek olası magnitüde bağımlılık durumları araştırılacaktır.

Tablo 3. Farklı saha özellikleri ve farklı büyüklük aralıklarına ait κ_0 (zero-distance) parametresinin karılaştırılması

κ_0		$\kappa_{h,0}$	$\kappa_{v,0}$
Saha Bağımlı Sınıflandırma	Saha C	0.0377	0.0150
	Saha D	0.0455	0.0271
Farklı saha ve Farklı büyüklük aralıkları	Saha C ve Mw: 3.0-4.0	0.0360	0.0127
	Saha C ve Mw: 4.0-5.0	0.0368	0.0135
	Saha C ve Mw: 5.0-6.0	0.0420	0.0211
	Saha D ve Mw: 3.0-4.0	0.0440	0.0284
	Saha D ve Mw: 4.0-5.0	0.0486	0.0266
	Saha D ve Mw: 5.0-6.0	0.0459	0.0266

3.3. Tek- stasyon Kappa Analizleri

Tek- stasyon kappa hesaplamaları, zemin sınıflandırılmasında kullanılabilecek olası bir V_{S30} ve κ_0 korelasyonu açısından önem taşımaktadır. Bu çalıma, kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılan 5 istasyon için Tek- stasyon Sıfır-mesafe düey ve yataykappa de erleri hesaplanmıştır. Bu istasyonlar seçilirken, o istasyona ait

toplam kayıt sayısının 10'dan fazla olmasına dikkat edilmiştir. Tablo 4'te bu analizler sonucunda elde edilen değerler sunulmaktadır. Bu sonuçlara göre, genel olarak beklendiği üzere V_{S30} değeri arttıkça κ_0 değeri azalmaktadır. Fakat veri setinin bu noktada yetersizliğinden ötürü (güvenilir kapa değerleri veren ve en az 10 kaydı bulunan istasyon sayısı az olduğu için) V_{S30} ile κ_0 arasında tam bir matematiksel bağlantı elde edilmeye çalışılmamıştır.

Tablo 4. Tek- istasyon için yapılan kapa analizlerinden örnek sonuçlar

Istasyon Kodu	Enlem-Boylam	V_{S30} (m/s)	Saha Sınıfı (NEHRP)	Kullanılan Kayıt Sayısı	$ h,0$	$ v,0$
BURSA_GEMLIK_1609	40.43- 29.17	228	D	28	0.0414	0.0283
DUZCE_8101	40.84- 31.15	282	D	20	0.0527	0.0308
BOLU_1401	40.75- 31.61	294	D	15	0.0485	0.0303
SAKARYA_5401	40.74- 30.38	412	C	47	0.0387	0.0145
ISTANBUL_3401	41.06 -29.01	595	C	29	0.0342	0.0133

4. ÖZET VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, ülkemizin deprem aktivitesi yüksek olan Kuzeybatı bölümü için 174 kayıt (522 bile en) kullanılarak 15 farklı kuvvetli yer hareketi istasyonunda kapa parametresi hesaplanmıştır ve bölgesel bir kapa modeli sunulmuştur. Bunun için magnitüd aralığı $3.0 < M_w < 6.0$ olan 142 farklı deprem kullanılmıştır. Hem yatay hem de dikey kapa bileşenleri için magnitüd, zemin sınıfı ve uzaklık bağımlılıkları araştırılmıştır. Ayrıca, V_{S30} ile κ_0 arasında potansiyel bir bağlantı olduğu gözlemlenmiştir fakat yeterli sayıda tek-istasyon verisi olmadığı için bu çalışmada matematiksel olarak bir model sunulmamıştır. Bu nedenle, gelecek çalışmalarımızda tüm Türkiye için kapa modeli çalışılırken bu ilişki de araştırılacaktır.

T-testleri sonucunda, %95'lik bir güven aralığında kapa magnitüd ile bağlantısı bu veri seti için gözlemlenmemiştir. Sıfır-uzaklık (zero-distance) kapa için elde edilen sayısal sonuçlarımız, aynı bölgede yapılan önceki çalışmalar ve dünya çapında bu konu ile ilgili yapılan çıkan sonuçlar ile uyumludur. İleride daha kapsamlı bir veri seti ile detaylı çalışmalar sürdürülecektir.

Bu ve benzeri çalışmalarda elde edilecek kapa modelleri, ileride yer hareketi simülasyonlarında, kapa- V_{S30} ilişkilerinde ve yer hareketi tahmin denklemlerinin bir bölgeden diğerine ölçeklenmesinde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Akinci, A., Malagnini, L., Herrmann, R. B., Gok, R., Sorensen, M. B. (2006) Ground motion scaling in the Marmara region, Turkey, Geophys. J. Int. 166 635–651.

Akyol, N., Akinci, A. ve Eyidoğan, H. (2001). Ters Çözüm Yöntemi ile Bursa İli ve Çevresinde Zemin Büyütme ve Sönüm Parametrelerinin Elde Edilmesi. *Jeofizik*, 15, 33-249.

Anderson, J., Hough, S., (1994) A model for the shape of the Fourier amplitude spectrum of acceleration at high frequencies, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 74 1969–1993.

Anderson, J., Zeng, Y., Sucuoglu, H., (2001) Analysis of accelerations from the 1 October 1995 Dinar, Turkey, earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 91 1433–1445.

Ansal, A. , Akinci, A., Cultrera, G., Erdik, M., Pessina, V., Tönük, G., ve Ameri, G. (2009) Loss estimation in Istanbul based on deterministic earthquake scenarios of the Marmara Sea region (Turkey), *Soil Dynam. Earthquake Eng.* 29 699–709.

Beresnev, I., Atkinson, G. M. (1997) Modeling finite-fault radiation from the ω^{-2} spectrum, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 87 67–84.

Durukal, E. (2002) Critical evaluation of strong motion in Kocaeli and Duzce (Turkey) earthquakes, *Soil Dynam. Earthquake Eng.* 22 589–609.

Ktenidou, O.-J., Gélis, C. ve Bonilla, L.-F. (2013). A Study on the Variability of Kappa (κ) in a Borehole: Implications of the Computation Process, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 103 (2A) 1048–1068.

Motazedian, D., Atkinson, G. M. (2005) Stochastic finite-fault modeling based on a dynamic corner frequency, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 95 995–1010.

Purvance, M. D., Anderson, J. G. (2003) A comprehensive study of the observed spectral decay in strong-motion accelerations recorded in Guerrero, Mexico, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 93 600–611.

Silva W.J. (1997). Characteristics of vertical strong ground motions for applications to engineering design. In: Friedland IM, Power MS, Mayes RL. (editors). Proceedings of the FHWA/NCEER workshop on the national representation of seismic ground motion for new and existing highway facilities. Technical Report NCEER-97-0010.

Ugurhan, B., ve Askan, A. (2010) Stochastic strong ground motion simulation of the 12 November 1999 Düzce (Turkey) earthquake using a dynamic corner frequency approach, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 100 1–27.

Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı (<http://daphne.deprem.gov.tr>).