KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MARMARA BÖLGESİ'NDEKİ KUVVETLİ YER HAREKETİ İSTASYONLARI İÇİN SPEKTRAL AZALIM PARAMETRESİ (KAPPA) BELİRLENMESİ

DUYGU AKÇAY

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MARMARA BÖLGESİ'NDEKİ KUVVETLİ YER HAREKETİ İSTASYONLARI İÇİN SPEKTRAL AZALIM PARAMETRESİ (KAPPA) BELİRLENMESİ

DUYGU AKÇAY

Prof.Dr. Fadime SERTÇELİK		
Danışman,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Prof.Dr. Murat UTKUCU		
Jüri Üyesi,	**Sakarya Üniversitesi**	**.....**
Doç.Dr. Ergin ULUTAŞ		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**

Tezin Savunulduğu Tarih: 10.07.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, Marmara Bölgesi'nde 1983-2019 yılları arasında meydana gelmiş 2,5≤ML≤6,5 aralığındaki depremlerin Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından işletilen kuvvetli yer hareketi istasyonları kullanılarak bölge için spektral sönüm parametresi kappa'nın (κ) belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve tez çalışmamda bana yol gösteren, danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Fadime SERTÇELİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasında kullanmış olduğum programı hazırlayan Arş. Gör. Hamdullah LİVAOĞLU'na teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, AFAD UDAP G-18-03 no'lu proje ile kısmen desteklenmiştir.

Temmuz – 2020 Duygu AKÇAY

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ……..i
İÇİNDEKİLER …….....ii
ŞEKİLLER DİZİNİ …….iii
TABLOLAR DİZİNİ ……...v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ……vi
ÖZET ……vii
ABSTRACT …….....viii
GİRİŞ …… 1
1. GENEL BİLGİLER ……..8
1.1. Marmara Bölgesi'nin Jeolojisi ……...8
1.2. Marmara Bölgesi'nin Tektoniği ve Depremselliği ……....9
1.3. Kuvvetli Yer Hareketi ve Parametreleri ……...13
1.3.1. Genlik parametreleri ……..14
1.3.2. Frekans parametreleri ……15
1.3.3. Kuvvetli yer hareketinin süresi …….....16
1.4. Spektral Sönüm Parametresi Kappa (κ) ……...16
1.4.1. Kappa'nın uzaklık ile ilişkisi …….....19
1.4.2. Kappa'nın magnitüd ile ilişkisi ……..19
1.4.3. Kappa'nın vs_{30} ile ilişkisi ……...20
1.4.4. Kappa'nın sediman kalınlığı ile ilişkisi ……..21
1.4.5. Kappa hesaplama yöntemleri …….....22
2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEM VE VERİLER ……24
2.1. Yöntem ……24
2.2. KAPPA_KOU Matlab Tabanlı Program ……..25
2.3. Çalışmada Kullanılan Veriler ……..29
3. BULGULAR …….....36
3.1. İstasyon Bazlı κ_0 Belirlemesi ……...36
3.2. İstasyon Zemin Türü- Kappa Değişimi ……....43
3.3. Kappa-Magnitüd Değişimi ……..51
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER …….....58
KAYNAKLAR ……..... 68
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER ……...82
ÖZGEÇMİŞ ……... 83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Marmara Bölgesi'ndeki litolojik birimleri gösteren jeoloji haritası (http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx) ……...9
Şekil 1.2. Marmara Bölgesi'nin tektonik ve depremsellik (1900-2019) haritası ……13
Şekil 2.1. Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı'ndan indirilen örnek deprem ivme kaydına ait veri dosyası (http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php) …….....25
Şekil 2.2. Band geçişli Butterworth süzgece (n=4, süzgeç derecesi) ait tepki fonksiyonu …….....26
Şekil 2.3. N veri uzunluğu (N=6000) için Hanning penceresine ait tepki fonksiyonu ……...27
Şekil 2.4. İstanbul'da bulunan 3418 kodlu istasyonda ML 3,5, 01/30/2016 09:03:14 (GMT) tarihli depreme ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları üzerinde P ve S dalga fazları ile gürültü kısımlarının (G) belirlenmesi ……28
Şekil 2.5. İstanbul'da bulunan 3418 kodlu istasyonda ML 3,5, 01/30/2016 09:03:14 (GMT) tarihli depreme ait Fourier genlik spektrumları, f_i ve f_e değerleri, en küçük kareler yöntemi ile geçirilen doğru, hesaplanan kappa değerleri ve korelasyon katsayısı (R^2) …….....29
Şekil 2.6. AFAD tarafından işletilen Marmara Bölgesi'ndeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarının dağılımı ……...30
Şekil 2.7. Marmara Bölgesi'ndeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarında kaydedilmiş ve bu çalışmada kullanılan depremlerin episantır dağılımları ……...30
Şekil 3.1. Çalışma bölgesinde kullanılan bazı istasyonlar için kappa-episantır uzaklığı grafikleri, istasyon kodları, istasyonlara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)…….....37
Şekil 3.2. A zemin sınıfında kurulu istasyon kayıtlarından elde edilen kappa-episantır uzaklığı grafikleri, saçılmış veriler arasından geçirilen doğrular, doğrulara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)……44
Şekil 3.3. B zemin sınıfında kurulu istasyon kayıtlarından elde edilen kappa-episantır uzaklığı grafikleri, saçılmış veriler arasından geçirilen doğrular, doğrulara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)……44
Şekil 3.4. C zemin sınıfında kurulu istasyon kayıtlarından elde edilen kappa-episantır uzaklığı grafikleri, saçılmış veriler arasından geçirilen doğrular, doğrulara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)……45
Şekil 3.5. D zemin sınıfında kurulu istasyon kayıtlarından elde edilen kappa-episantır uzaklığı grafikleri, saçılmış veriler arasından geçirilen doğrular, doğrulara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)……45

Şekil 3.6. Kayma dalgası hızı belli olan istasyonlardan elde edilen κ_0 değerleri ile Vs_{30} arasındaki ilişkiyi gösteren grafik ……46
Şekil 3.7. NEHRP A zemin sınıfında Vs_{30} bilgisi belli olan ve olmayan istasyonlardan elde edilen kappa değerlerinin uzaklıkla değişim grafiği ve saçılmış değerler arasından uydurulan doğru ve denklemi ……..48
Şekil 3.8. NEHRP B zemin sınıfında Vs_{30} bilgisi belli olan ve olmayan istasyonlardan elde edilen kappa değerlerinin uzaklıkla değişim grafiği ve saçılmış değerler arasından uydurulan doğru ve denklemi ……..49
Şekil 3.9. NEHRP C zemin sınıfında Vs_{30} bilgisi belli olan ve olmayan istasyonlardan elde edilen kappa değerlerinin uzaklıkla değişim grafiği ve saçılmış değerler arasından uydurulan doğru ve denklemi ……..49
Şekil 3.10. NEHRP D zemin sınıfında Vs_{30} bilgisi belli olan ve olmayan istasyonlardan elde edilen kappa değerlerinin uzaklıkla değişim grafiği ve saçılmış değerler arasından uydurulan doğru ve denklemi ……..49
Şekil 3.11. Marmara Bölgesi için elde edilen yatay bileşen kappa değerlerinin uzaklıkla değişim grafiği ve saçılmış değerler arasından uydurulan doğru ve denklemi ……...50
Şekil 3.12. Marmara Bölgesi için elde edilen düşey bileşen kappa değerlerinin uzaklıkla değişim grafiği ve saçılmış değerler arasından uydurulan doğru ve denklemi ……..51
Şekil 3.13. Çalışma bölgesinde kullanılan bazı istasyonlar için kappa-magnitüd ilişkisi grafikleri, istasyon kodları, istasyonlara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2) ……...52
Şekil 3.14. Magnitüd-kappa değişimi, saçılmış noktalar arasından geçirilen doğru ve denklemi ……...55
Şekil 3.15. A zemin sınıfı için kappa-magnitüd-episantır uzaklığı değişimi ……...55
Şekil 3.16. B zemin sınıfı için kappa-magnitüd-episantır uzaklığı değişimi …….....56
Şekil 3.17. C zemin sınıfı için kappa-magnitüd-episantır uzaklığı değişimi …….....56
Şekil 3.18. D zemin sınıfı için kappa-magnitüd-episantır uzaklığı değişimi ……...57
Şekil 3.19. Marmara Bölgesi için elde edilen kappa-magnitüd-episantır uzaklığı değişimi …….57

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. NEHRP'te tanımlanan zemin grupları (BSSC, 2003) …….31
Tablo 2.2. Çalışmada kullanılan istasyonlarının kodları ve koordinatları, deprem sayıları (N), istasyonların bulunduğu zemine ait kesme dalgası hızı ve litoloji bilgileri …….32
Tablo 3.1. Marmara Bölgesi'ndeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarına ait koordinat bilgileri, istasyon kodları, istasyonlarda kullanılan veri sayıları (N), Vs_{30} – NEHRP zemin sınıfı bilgileri ve elde edilen κ_0 değerleriyle korelasyon katsayıları (R^2) ……..39
Tablo 3.2. Veri yetersizliği nedeniyle κ_0 belirlemesi yapılmayan Marmara Bölgesi'ndeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarının kodları, koordinat bilgileri, veri sayısı (N), Vs_{30} bilgileri, hesaplanan kappa değerleri ……..42
Tablo 3.3. Zemin sınıflarına göre hesaplanan kappa değer aralıkları ve κ_0 değerleri ……...45
Tablo 3.4. Marmara Bölgesi'nde kayma dalgası hızı belli olmayan kuvvetli yer hareketi istasyonlarının kodları, koordinat bilgileri, veri sayısı (N), istasyonun kurulu olduğu zemine ait litoloji bilgisi ve önerilen zemin sınıfları ……..47
Tablo 3.5. Vs_{30} bilgisi belli olan ve olmayan istasyonlardan elde edilen kappa değerlerinin zemin sınıflarına göre hesaplanan yatay bileşen kappa değer aralıkları ……..50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

f_c : Köşe frekansı (Hz)
f_e : İvme spektrumunda doğrusal azalımın sona erdiği frekans değeri (Hz)
f_i : İvme spektrumunda doğrusal azalımın başladığı frekans değeri (Hz)
f_{max} : Kesme frekansı (Hz)
κ : Sönüm parametresi (kappa) (sn)
κ_0 : Sıfır mesafe kappa (sn)
κ_R : Dış merkez uzaklığına bağlı kappa (sn/km)
mb : Cisim dalgası magnitüdü
Md : Süreye bağlı magnitüd
ML : Lokal (yerel) magnitüd
M_w : Moment magnitüdü
Q : Sismik kalite faktörü
R : Dış merkez (episantır) uzaklığı (km)
Vs_{30} : Zemin yüzeyinin ilk 30 m altı için kayma dalgası hızı (m/sn)
Z : Sediman kalınlığı (km)

Kısaltmalar

AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
D-B : Doğu-Batı
EMSC : The European-Mediterranean Seismological Centre (Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi)
FFT : The Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
KAFZ : Kuzey Anadolu Fay Zonu
KB-GD : Kuzeybatı-Güneydoğu
KD-GB : Kuzeydoğu – Güneybatı
NEHRP : National Earthquake Hazard Reduction Programme (Ulusal Deprem Tehlikelerini Azaltma Programı)
PGD : Peak Ground Displacement (Pik Yer Değiştirme)
PHA : Peak Horizontal Acceleration (Pik Yatay İvme)
PHV : Peak Horizontal Velocity (Pik Yatay Hız)
PVA : Peak Vertical Acceleration (Pik Düşey İvme)
TR-KYH : Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı

MARMARA BÖLGESİ'NDEKİ KUVVETLİ YER HAREKETİ İSTASYONLARI İÇİN SPEKTRAL AZALIM PARAMETRESİ (KAPPA) BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada 38°-42° K - 25°-32° D koordinatlarındaki Marmara Bölgesi'nde AFAD Deprem Dairesi tarafından işletilen 217 kuvvetli yer hareketi istasyonuna ait deprem ivme kayıtları kullanılarak yüksek frekanslarda kuvvetli yer hareketi karakteristiğini temsil eden azalım parametresi (kappa) değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, 1983-2019 yılları arasında büyüklükleri 2,5≤ML≤6,5, episantır uzaklıkları 200 km'den az olan 1473 depremin 6837 adet üç bileşen ivme kaydı kullanılmıştır. Depremlere ait veriler, Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı'ndan (TR-KYH) indirilmiş (http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php), sinyal analizi ve kappa parametresi hesabı Matlab tabanlı yazılan KAPPA_KOU adlı programda yapılmıştır. İstasyon bazlı kappa-episantır uzaklığı değişiminden hesaplanan κ_0 değerlerinin yatay bileşenler için 0,0014-0,0748 sn, düşey bileşen için ise 0,0019-0,0646 sn aralığında değiştiği görülmüştür. İstasyonların zeminleri NEHRP sınıflamasına göre gruplandırılarak kappa-episantır uzaklığı değişiminden elde edilen κ_0 değerleri ise yatay ve düşey bileşenlerde A, B, C ve D zemin sınıfları için sırasıyla 0,0295-0,0269 sn, 0,0312-0,0304 sn, 0,0426-0,0402 sn ve 0,0468-0,0407 sn olarak hesaplanarak elde edilen κ_0 değerleri ile Vs_{30} arasında ilişki gözlenmiştir. Kayma dalgası hızı belli olmayan istasyonlar için ise hız bilgisi olan istasyonlar göz önüne alınarak sınıflama yapılmaya çalışılmış ve zemin sınıfı önerisinde bulunulmuştur. Bölge geneli için ortalama κ_0 değeri yatay bileşen için 0,0436 sn ve düşey bileşen için 0,0420 sn bulunmuştur. Ayrıca kappa değerleri ile deprem magnitüdü arasındaki ilişki de incelenmiş ve κ ile magnitüd arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Episantır Uzaklığı, Kappa (κ) Değeri, Magnitüd, Marmara Bölgesi, Vs_{30}.

ESTIMATION OF THE SPECTRAL DECAY PARAMETER (KAPPA) FOR STRONG GROUND MOTION STATIONS IN THE MARMARA REGION

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the high frequency attenuation parameter (kappa) values which representing strong ground motion characteristic at high frequencies by using earthquake acceleration records of 217 strong ground motion stations operated by Disaster&Emergency Management Authority Presidential of Earthquake Department in the Marmara Region at 38°-42°N and 25°-32°E coordinates. 6837 three component acceleration recordings of 1473 earthquakes were used that occurred between 1983-2019, magnitude was 2,5≤ML≤6,5, epicenter distances were less than 200 km. Earthquake datas were downloaded from Strong Gorund Motion Database of Turkey (TR-NSMN) (http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php). Signal analysis and kappa parameter calculation were performed in a coded Matlab based program named as KAPPA_KOU. It was observed that the values of calculated κ_0 from the station-based kappa-epicenter distance change ranged between 0,0014-0,0748 and 0,0019-0,0646 sec for horizontal and vertical component respectively. The ground of the stations are categorized according to the NEHRP classification and the κ_0 values obtained from the change of kappa-epicenter distance; 0,0295-0,0269, 0,0312-0,0304, 0,0426-0,0402, 0,0468-0,0407 sec were calculated for A, B, C, D soil group at horizontal and vertical components, respectively and a correlation was determined between κ_0 values and Vs_{30}. For the stations whose shear wave velocities are not avaliable, classification was tried to be estimated considering the stations with shear wave velocity information and soil group suggestions have been made. The average κ_0 value for the whole region was found to be 0,0436 and 0,0420 sec for horizontal and vertical components, respectively. In addition, the relationship between kappa values and earthquake magnitude was investigated and a linear relationship was found between κ and magnitude.

Keywords: Epicenter Distance, Kappa (κ) Value, Magnitude, The Marmara Region, Vs_{30}.

GİRİŞ

Kuvvetli yer hareketinin yüksek frekanslardaki karakteristikleri ve saha koşulları ile ilgisi, yapıların sismik tasarımlarında önem taşımaktadır. Yer hareketi-zemin ilişkileri, birçok mühendislik ve sismolojik uygulamada kuvvetli yer hareketini tahmin etmek için kullanılır. Bu ilişkiler, kuvvetli yer hareketi kayıtlarının olduğu yerlerden yararlanılarak kayıtların olmadığı veya sınırlı olduğu bölgeler için stokastik, deterministik, hibrit yöntemler kullanılarak geliştirilebilir (Aki, 1968; Bouchon ve Aki, 1977; Boore, 1983; Sørensen ve diğ., 2007; Graves ve Pitarka, 2010). Yer hareketi simülasyonları, bölgesel kaynak parametreleri ve saha koşulları kullanılarak gerçekleştirilir. Bu amaç için kullanılan parametrelerden spektral azalımı temsil eden kappa, yer hareketi simülasyonu için kaynak parametrelerinin belirlenmesinde önemlidir. Kappa, yer hareketi tahminlerinde saha koşullarının etkisini belirlemek için kullanılan zemin bağımlı parametredir ve yakın yüzey azalım (sönüm) parametresi olarak tanımlanmaktadır. Kappa değerlerinin doğru şekilde kestirimi, aynı tür jeoloji özelliğine sahip belirli bir alandaki tüm kayıt istasyonları kullanılarak ortalama değer ile sağlanır. Kappa, logaritmik-lineer ölçekteki ivme spektrumunda yüksek frekanslardaki genlik azalımının başladığı frekanstan, genlik azalımının sona erdiği frekansa kadar devam eden kısımdan hesaplanır (Anderson ve Hough, 1984). Kappa (κ), κ_R ve κ_0 olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Sıfır mesafe kappa olarak adlandırılan κ_0, her bir alana özgüdür ve istasyonun kurulu olduğu zemine ait kayma dalgası hızı (Vs_{30}) ile ilişkilidir. Zemini iyi nitelikte olan alanlarda κ_0 değerinin diğer alanlara nazaran düşük değerde olması beklenir (örn Silva ve diğ., 1998; Van Houtte ve diğ., 2011; Ktenidou ve diğ., 2014). κ_R ise depremin dış merkez uzaklığına bağlı parametredir ve bölgesel eğimi temsil eder.

Anderson ve Hough (1984) yüksek frekanslarda genlik spektrum şeklini $e^{-\pi\kappa f}$ ile ilişkilendirerek ilk defa tanımlamıştır. Bu modelde yüksek frekanslardaki azalım, yakın yüzey ve yayılma yolu boyunca soğurulmadan kaynaklanmaktadır. Yaptıkları çalışmada 1971 San Fernando-Kaliforniya depremini kullanarak κ_0 değerini kaya nitelikli zeminlerde 0,040 sn, alüvyon zeminlerde ise 0,066 sn olarak hesaplamışlardır.

Yüksek frekans spektral azalımının zemin etkisinden başka, farklı bir kaynağının olabileceğinden de söz edilmektedir. Literatürde kappa parametresi için yapılan pek çok çalışma bulunmaktadır. Petukhin ve Irikura (2000) spektral azalımın kaynaktan etkilendiğini vurgularken, Tsai ve Chen (2000) azalımın nedeninin sığ derinlik etkisinden kaynaklanan soğurulma ve kaynak etkisinin birleşimi olarak bildirmişlerdir. Purvance ve Anderson (2003) da Guerrero dalma-batma bölgesinden elde edilen kappa sonuçlarını benzer iki nedene bağlamışlardır: istasyon altı yerel etki (κ_0) ve deprem kaynağı. Normal ve ters faylanma mekanizmalarına ait depremler kullanılarak elde edilen kappa değerlerinde 4,5 msn fark hesaplamışlardır. Margaris ve Boore (1998) Yunanistan'da yaptıkları çalışmada magnitüdleri 5,8-6,9 arasında değişen sekiz deprem kullanarak çalışma bölgesi için κ_0 değerini 0,06 sn olarak hesaplamışlardır. Durukal (2002) tarafından ortalama κ_0 değeri, 1999 Kocaeli depremi için 0,063 sn ve Düzce depremi için 0,065 sn olarak bulunmuştur. NEHRP B ($760<Vs_{30}\leq1500$ m/sn) ve C ($360<Vs_{30}\leq760$ m/sn) zemin sınıfı için hesaplanan kappa değerlerinin 0,025-0,094 sn aralığında geniş bir saçılım gösterdiği, sırasıyla Kocaeli ve Düzce depremleri için B-C zemin sınıflarında elde edilen κ_0 değerleri ise 0,048 ile 0,054 sn olarak bildirilmiştir. İsviçre'de Bay ve diğ. (2003) tarafından yapılmış çalışmada $2,0\leq ML\leq5,2$ aralığında 292 deprem kullanılmış ve NEHRP A ($Vs_{30} > 1500$ m/sn) ve B ($760<Vs_{30}\leq1500$ m/sn) zemin sınıflarında konumlanan istasyonlarda κ_0 değeri 0,015 sn olarak bulunmuştur. Akıncı ve diğ. (2006) tarafından Marmara Bölgesi'nde NEHRP B-C sınırında olan ($Vs_{30}\approx760$ m/sn) 53 istasyonun kaydettiği, moment magnitüdü 2,5 ile 7,2 aralığında değişen 462 depreme ait 2400 kayıt kullanılmış ve ortalama κ_0 değeri 0,055 sn olarak elde edilmiştir. İran'da Motazedian (2006) tarafından moment magnitüdü 4,9-7,4 aralığında değişen 22 depreme ait 259 ivme kaydı kullanılarak yatay ve düşey bileşen için κ_0 değerlerinin sırasıyla 0,05 ve 0,03 sn bulunduğu bildirilmiştir. Jo ve Baag (2007), Kore'de yaptıkları çalışmada ML 2,5-4,1 olan depremleri incelemiş ve magnitüd ile kappa arasında ilişki bulamamışlardır. Her bir istasyon için κ_0 değerlerini -0,015 ile 0,035 sn aralığında bulmuşlardır. Elde ettikleri negatif değerler için yüzeye yakın ortamlarda spektral genliğin daha az sönüme uğramasından kaynaklandığı şeklinde yorumda bulunmuşlardır. Çalışma bölgesi için ortalama κ_0 değerini ise 0,007 sn olarak bulmuşlardır. Elde ettikleri kappa değerleri ile jeoloji arasında da uyum gözlendiğini bildirmişlerdir. Kamalian ve diğ. (2007) tarafından 2002 Avaj-İran (M_w 6,5) depremine ait 56 istasyondaki kuvvetli yer

hareketi kayıtları kullanılarak Avaj bölgesi için κ_0 değerlerinin 0,032-0,20 sn aralığında değiştiği bildirilmiştir. Parolai ve diğ. (2007) tarafından 53 istasyon kullanılarak 1999 Kocaeli depreminin 523 artçı şoku (0,5 < ML <5,9) için kappa değerleri belirlenmiş ve değerlerin 0,00-0,08 sn arasında değiştiği, ayrıca kappa değerlerinin artçı şok büyüklüğü ile artma eğiliminde olduğu bulunmuştur. İran'da yapılmış başka bir çalışmada Nicknam ve diğ. (2008) tarafından ise 26 Aralık 2003 Bam Depremi kullanılarak ortalama κ_0 değerinin 0,07 sn olduğu bulumuştur. Drouet ve diğ. (2010), Fransa'da yaptıkları çalışmada 0-0,05 sn aralığında κ_0 değerleri elde etmişlerdir. Fernández ve diğ. (2010), Pitaycachi Fayı'nda meydana gelmiş depremlerin (ML<3,5) 1183 adet yatay bileşen kayıtlarını kullanarak yaptıkları kappa parametresi belirleme çalışmasında κ değerlerinin 70-80 km'ye kadar olan uzaklıklarda arttığını, 80-100 km arasındaki uzaklıklarda ise azaldığını belirlemişler ve ortalama κ_0 değerini 0,04 sn bulmuşlardır. Elde edilen κ sonuçlarının magnitüdten bağımsız olduğu bulunmuştur. Uğurhan ve Askan (2010) tarafından NEHRP C ($360<Vs_{30}\leq760$ m/sn) ve D ($180\leq Vs_{30}\leq360$ m/sn) zemin sınıflarındaki 30 istasyondan düşey bileşen kayıtlar kullanılarak 1999 Düzce depremi için κ_0 değerinin 0,0474 sn bulunduğu bildirilmiştir. Gentili ve Franceschina (2011) tarafından İtalya'daki ivmeölçerler ve kısa periyot sismometreler ile yapılmış çalışmada $3,0<M_w<6,5$, episantır uzaklıkları 0-250 km aralığında olan 331 depreme ait 1345 kayıt kullanılmıştır. Kappa değerleri ile magnitüd arasında ilişki gözlenmediği; ancak episantır uzaklığı ile κ'nın artış gösterdiği, κ_0 değerlerinin ise 0,017-0,053 sn aralığında değiştiği bildirilmiştir. κ değerlerinin ivmeölçerlerle kaydedilmiş depremler için 0,037-0,075 sn aralığında, zayıf yer hareketi kayıtçılarında ise 0,006-0,128 sn aralığında değiştiği belirtilmiştir. Van Houtte ve diğ. (2011) Tayvan'da yaptıkları çalışmada κ_0'ı 0,05 sn olarak hesaplamışlardır. D'Amico ve diğ. (2012) Tayvan'da 10 istasyon kullanarak M_w 7,6 Chi-Chi depreminin artçı şoklarını (M_w 3,0-6,5) incelemiş ve κ_0 değerini 0,05 sn bulmuşlardır. Ktenidou ve diğ. (2012) Vs_{30} 175-800 m/sn aralıkta değişen zeminlerdeki istasyonlarda kaydedilmiş, derinlikleri 13 km'den az olan M_w 2,0-6,5 aralığındaki 42 depreme ait 184 kayıt kullanarak κ_0 değerlerinin 0,02-0,08 sn aralıkta değiştiğini bulmuşlardır. Akıncı ve diğ. (2013) tarafından Batı Anadolu'da yapılmış çalışmada NEHRP B-C zemin sınırındaki istasyonlarda kaydedilmiş ML 2,5-5,8 aralığındaki 902 depreme ait kayıtlar kullanılarak κ_0 değeri 0,045 sn olarak belirlenmiştir. Askan ve diğ. (2013), 1992 Erzincan depreminin 3

istasyona ait kayıtlarını kullanarak kuvvetli yer hareketi simülasyonu yapmışlardır. Çalışma kapsamında kullanılan κ_0 değerini 0,066 sn olarak hesaplamışlardır. İran'da Safarshahi ve diğ. (2013) tarafından yapılmış çalışmada 23 istasyonda 20 Aralık 2010 M_w 6,5 Rigan depremi için yatay bileşenler kullanılmış ve κ_0 değeri 0,06 sn bulunmuştur. Askan ve diğ. (2014) tarafından Kuzeybatı Türkiye'de 15 kuvvetli yer hareketi istasyonunda kaydedilmiş $3,0<M_w<6,0$ aralığındaki 142 depremin 174 kaydı kullanılarak yapılmış çalışmada NEHRP C ve D zemin sınıfları için κ_0 değerlerinin yatay bileşenlerden 0,0377 ve 0,0455 sn; düşey bileşen için ise 0,0150 ve 0,0271 sn olarak; κ_0 değerlerinin yatay bileşende 0,0138-0,0932 sn, düşey bileşende ise 0,0081-0,0831 sn aralıklarında değiştiği bulunmuştur. Kappa değerleri ile magnitüd arasında ise ilişki belirlenememiştir. Castro ve diğ. (2015) tarafından 11 istasyon kullanılarak, derinliklerin 20 km'den az, episantır uzaklıkları 43-500 km aralığında değişen M_w 5,1-6,6 olan 13 deprem için kappa değerleri ile κ_0 hesaplanmıştır. 60 km'ye kadar olan uzaklıklarda kappa değerlerinin 0,04 sn değerlerinde olduğu, 500 km uzaklıklara kadar ise değerlerin 0,18 sn'ye kadar çıktığı; κ_0 değerlerinin çoğu alanda 0,03 sn civarı olduğu, bazı yerlerde 0,05 ve 0,065 sn olduğu bildirilmiştir. Kappa değerlerinin ise magnitüdle ilişkisi bulunmadığı belirtilmiştir. Neighbors ve diğ. (2015) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değerleri $Vs_{30}>1500$ m/sn olan alanlarda 0,0223 sn, $360<Vs_{30}\leq760$ m/sn olan alanlarda 0,0235 sn ve sediman alanda 0,0217 sn olarak bulunmuştur. Elde edilen değerlerin çalışılan bölgenin jeolojisi ile bir uyum göstermediği bildirilmiştir. Lai ve diğ. (2016) Tayvan'da 30 adet sismik kuyu dizisinde kaydedilen 133 depremin (ML>4,0, odak derinlikleri < 35 km) kuvvetli yer hareketi kayıtlarını kullanmışlardır. Biri yüzeyde diğeri kuyu içinde olmak üzere ivmeölçer kayıtları kullanılarak yüzey istasyonlarından elde edilen κ_0 değerlerinin kuyu içi istasyonlardan elde edilen sonuçlardan daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. κ_0 değerlerini yüzeyde 0,032-0,097 sn; kuyu içerisinde ise 0,012- 0,078 sn aralığında hesaplamışlardır. Yaptıkları çalışmada istasyon jeolojisi ile kappa değerlerinin ilişkili olduğu, yüzeyde alüvyonlu zeminlerde konumlanmış istasyonlarda $\kappa_0>0,05$ sn, zemini daha iyi olan alanlarda ise $\kappa_0<0,05$ sn; kuyu istasyonları için ise zemini daha iyi olan alanlarda $\kappa_0<0,04$ sn, diğer bölgelerde konumlanan istasyonlar için ise bir ilişki bulunamadığı bildirilmiştir. Lermo ve diğ. (2016) tarafından Meksika'da derinlikleri 21 km'den az, $2,3\leq M_w \leq3,8$ olan 14 deprem kullanılarak κ_0 değeri 0,0457 sn olarak elde edilmiştir. Buldukları κ_0 değerinin sığ jeolojiden kaynaklanan etkiler nedeniyle

mesafeyle azaldığı yorumunu yapmışlardır (κ=0,0457-0,0004r, R^2=0,09) ve bulunan bu değerin bölgede yapılmış diğer çalışmalardan elde edilen değerlerden daha yüksek çıktığı bildirilmiştir. Park ve diğ. (2016) tarafından Kore'de 20 istasyon kullanılarak yapılmış çalışmada κ_0 değeri 0,0079 sn olarak elde edilmiş ve κ'nın deprem büyüklüğü ile bir ilişkisi olmadığı bulunmuştur. Bora ve diğ. (2017) Türkiye'den ve İtalya'dan kuvvetli yer hareketi veri tabanını kullanarak κ_0 değeri belirlemesi yapmışlardır. Türkiye ve İtalya için κ_0 değerlerinin sırasıyla 0,0457 ve 0,0261 sn olarak elde edildiği bildirilmiştir. κ_0 değerlerinin İtalya'da kötü nitelikli zeminlerden kaya nitelikli alanlara doğru düşüş gösterdiği bulunmuşken Türkiye için ise böyle bir genelleme yapılamamıştır. Afrika'da Brandt (2017) tarafından 0,7≤ML≤1,8 olan mikro depremler ile yine aynı büyüklükteki patlatmalara ait düşey bileşenler kullanılmış ve κ_0 değerleri depremler için 0,048 sn, patlatmalar için ise 0,098 sn bulunmuştur. Tayvan'da Huang ve diğ. (2017)'nin NEHRP B, C, D ve E zemin sınıfındaki zeminlerde kurulu 54 istasyon kullanarak yaptıkları çalışmada κ_0 değerlerinin 0,034-0,066 sn aralığında değiştiği ve κ_0 ile Vs_{30} arasında düşük bir ilişki olduğu bulunmuştur. Stanko ve diğ. (2017) tarafından Hırvatistan'da yapılmış kappa parametre belirleme çalışmasında 10 istasyonda (800≤Vs_{30}≤1390 m/sn) kaydedilmiş episantır uzaklıkları 150 km'den az, odak derinlikleri 30 km'den az özellikteki ML>3,0 olan depremler kullanılmış ve her bir istasyonda elde edilen κ_0 değerleriyle (0,0160-0,0372 sn aralıklarında) Vs_{30} karşılaştırması yapılarak sonuçların uyumlu olduğu bildirilmiştir. Kumar ve diğ. (2018) tarafından Hindistan'da yapılmış çalışmada 16 istasyonda kaydedilmiş 3,3-4,9 magnitüd aralığındaki 34 depreme ait 159 ivme kaydı kullanılarak κ_0 değerlerinin 0,016-0,045 sn aralığında değiştiği ve ortalama κ_0 değerinin ise 0,023 sn olduğu bulunmuştur. κ ile deprem büyüklüğü arasında ilişki bulunamadığı belirtilmiştir. Tanırcan ve Dikmen (2018) tarafından İstanbul'da episantır uzaklıkları 200 km'den ve derinlikleri 20 km'den az, ML 3,0-4,8 aralığındaki 52 deprem için üç kuyu dizisinin yüzeyinde ve derinindeki sensörlerin kaydettiği ve iki adet yüzeydeki istasyonlarla yapılmış çalışmada yatay bileşen ivme kayıtları kullanılmıştır. Kuyu istasyonlarından elde edilen κ_0 değerlerinin yüzeydeki sensörler tarafından 0,040–0,053 sn aralığında ve derindeki sensörler tarafından ise 0,018-0,023 sn aralığında bulunduğu; yüzeydeki diğer iki istasyon için ise değerlerin 0,026 ve 0,030 sn olduğu bildirilmiştir. Yadav ve diğ. (2018) tarafından Hindistan'ın kuzeydoğusunda yapılmış çalışmada mb 3,9-6,8 olan 32 depreme ait 598 adet ivme

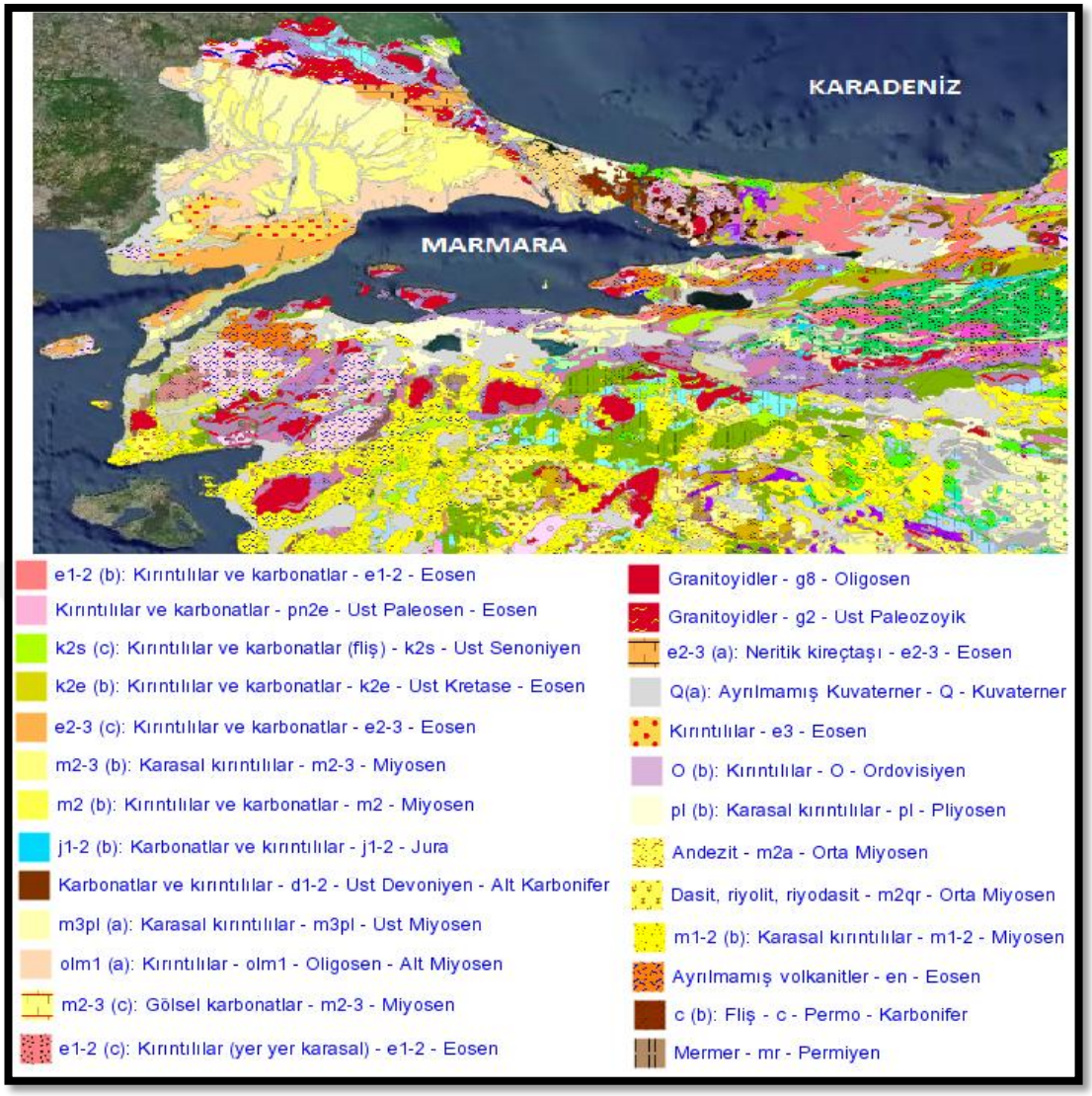
kaydı kullanılmış ve ortalama κ_0 değeri yatay bileşenler için 0,041 sn, düşey bileşen için ise 0,037 sn olarak bulunmuştur. Elde edilen değerlerden kappa'nın zemin koşullarına bağlı olduğu belirtilmiştir. Tayvan'da Chang ve diğ. (2019) tarafından 679 kuvvetli yer hareketi istasyonunda kaydedilmiş lokal magnitüdü 4,0-7,1 ve odak derinlikleri 30 km'den az, episantır uzaklıkları 0-150 km aralığında olan 2204 deprem kappa belirlemesinde kullanılmıştır. κ_0 değerlerinin 0,0208 ile 0,1470 sn arasında değiştiği, alüvyonlu sahalarda κ_0 değerlerinin 0,06 sn'den büyük olduğu bildirilmiştir. Darragh ve diğ. (2019) Colorado'da yaptıkları çalışmada 84 istasyon kullanarak derinlikleri 20 km'den az, 1,5-3,3 aralığındaki 24 deprem için κ_0 değerlerinin 0,005-0,030 sn aralığında değiştiğini bulmuşlardır. Park ve diğ. (2019) tarafından Güney Kore'de ML 2,0-3,9 aralığındaki depremler kullanılarak yüzey ve kuyu istasyonlarından κ_0 değeri belirlenmiştir. Yüzeydeki istasyonlar için κ_0 değeri 0,0219 sn ve kuyudaki istasyonlar için κ_0 değeri 0,0178 sn elde edilmiştir. Yüzeydeki ve kuyudaki istasyonlardan elde edilen κ_0 arasındaki farklılığın yüksek frekanslarda spektral azalımın yüzey sediman tabakaları tarafından etkilendiğinden kaynaklandığı yorumu yapılmıştır. Palmer ve Atkinson (2020) Kanada'nın doğusunda ve batısında kaya nitelikli alanlar için $M_w \geq 3,5$ olan depremleri kullanarak κ_0 belirlemesi yapmışlardır. Kanada'nın doğusunda 9 istasyonda kaydedilmiş 20 depreme ait, batı kısımda ise 8 istasyonda kaydedilmiş 404 depreme ait yatay ve düşey bileşen kayıt kullanmışlardır. Genel olarak yatay bileşenlerden elde edilen kappa değerlerinin düşey bileşenden elde edilen değerlerden daha yüksek olduğunu gözlemişlerdir. Ortalama κ_0 değerini Kanada'nın doğusu için yatay bileşenlerde 0,007 sn; batı kısım için ise yatay bileşenlerde 0,019 sn ve düşey bileşende 0,014 sn olarak hesaplamışlardır. Yaptıkları çalışmada kappa değerleri ile bölge jeolojisi arasındaki ilişkiyi de incelemişlerdir. Doğu Kanada'da, Vs_{30} 1200-3000 m/sn arasındaki alanlarda uyum gözlenmediği; batı Kanada'da ise Vs_{30} bilgisi olmadığı, hızların 1000-3000 m/sn arasında değişebileceği varsayılarak burada da kappa değerleri ile uyuma rastlanmadığı bildirilmiştir. Sadeghi-Bagherabadi ve diğ. (2020) İran'ın Zagros bölgesinde 180 ivmeölçer tarafından kaydedilmiş M_w 3,6-6,1 aralığındaki 129 depreme ait 547 üç bileşen kayıt kullanarak κ_0 değerlerini yatay ve düşey bileşen için sırasıyla 0,043 ve 0,033 sn olarak bulmuşlardır.

Bu tez çalışmasında Marmara Bölgesi'nde, yüksek frekanslardaki genlik azalımını belirten kappa parametresi hesaplanmıştır. AFAD Deprem Dairesi tarafından işletilen 217 kuvvetli yer hareketi istasyonunun kaydettiği 1473 depreme ait 6837 üç bileşen ivme kaydı kullanılarak istasyonlar için κ_0 değerleri belirlenmiştir. 4'ten daha az veriye sahip olan istasyonlar için κ_0 belirlemesi yapılmamıştır, bu özellikteki istasyonlar için sadece kaydettikleri depremlere ait kappa değerleri hesaplanmıştır. Matlab tabanlı KAPPA_KOU isimli yazılım hazırlanarak hesaplamalar yapılmıştır. İstasyona ait Vs_{30} bilgisi olanlar için zemin-kappa değişimine bakılmıştır. Vs_{30} bilgisi olan 180 istasyon için zemin özelliklerini yansıtan κ_0 değerleri elde edilmiştir. Zemin iyileştikçe κ_0 değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Hız bilgisine sahip olmayan; ancak yeterince deprem kaydetmiş 50 istasyon için de κ_0 değerleri hesaplanmış, elde edilen bilgiye göre muhtemel zemin sınıfı belirlenmiş ve o zemin sınıfına ait genel denklemde bütün depremlerin kappa değerleri kullanılarak uyuma bakılmıştır. Bu uyuma göre Vs_{30} bilgisi olmamasına rağmen yapılan kuvvetli yer hareketi analizine göre zemin sınıfı tahmin edilmiştir. Vs_{30} bilgisi olup 4'ten daha az veriye sahip olan istasyonlarda ise ivme kayıtlarından elde edilen kappa değerleri, her bir zemin sınıfı için oluşturulan kappa-episantır uzaklığı grafiklerindeki değerler ile birleştirilmiştir. Her bir zemin sınıfı için kappa ile uzaklık arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerden, zemin sınıfları için κ_0 değerleri belirlenmiştir. Hız bilgisine sahip ve yeteri kadar verisi olan 130 istasyon için κ_0 değerleri ile Vs_{30} arasında ilişki incelenmiştir. Ardından, çalışmada kullanılan tüm kayıtlar için hesaplanan kappa değerleri ile episantır uzaklığı ilişkisi incelenerek yatay ve düşey bileşen için κ_0 değerleri bulunmuştur. Kappa değerlerinin magnitüd ile ilişkisi de incelenmiştir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Marmara Bölgesi'nin Jeolojisi

Marmara Bölgesi; Sakarya Zonu, İstanbul Zonu ve Trakya Havzası olmak üzere üç zon (Okay ve Tüysüz, 1999) içermektedir ve farklı litolojik birimlerden oluşmaktadır (Şekil 1.1.). Sakarya Zonu'nun temelini Paleozoyik-Mesozoyik zaman aralığındaki fillit, amfibolit, mermer, meteperidotit ve gnays oluşturur. Sakarya Kıtası'nda Senozoyik Kuvaterner-Tersiyer devirlerine ait kırıntılılar, gölsel çökeller, mermer, gnays, kırıntılılar-karbonatlar ve yine Tersiyer devrine ait Eosen, Oligosen ve Miyosen devrelerinde yaşlı granitik kayalar, volkanit birimler; Mesozoyik Jura devrine ait karbonatlar-kırıntılılar; Senozoyik'e ait Oligosen-Miyosen devrelerinde sedimanter kayalar görülmektedir. Okay (1989) ile Emre ve diğ., (1998) tarafından İstanbul Zonu, Marmara Denizi'nin kuzeybatısında Çatalca'dan doğuda kalan kesim olarak tanımlanmıştır. Bu zonda Paleozoyik'e ait çeşitli şist ve mermerler, kırıntılılar, karbonatlar ve volkanitler; Mesozoyik Triyas'a ait kırmızı gre ve konglomeralar ile Kretase'ye ait kireçtaşı, kalker ve konglomera; Senozoyik Eosen'e ait filiş, kumtaşı, konglomera, şeyl ve çamurtaşı ile Neojen'e ait konglomera, gre, kiltaşı, silttaşı, marn ve Kuvaterner'e ait alüvyonlar yer alır. Istranca Masifi, Çatalca ile Bulgaristan arasında KB-GD doğrultusunda uzanan, güneyde Trakya Havzası ve kuzeyde Srednagora Zonu ile sınırlı metamorfik bir masiftir. Masifin iki sınırla olan ilişkisi faylıdır. Istranca Masifi üzerinde gelişen Trakya Havzası Senozoik tortul kayalardan oluşmaktadır. Trakya'nın batı ve güneybatısında eski göl yataklarında alüvyonlar da vardır. Istranca Masifi kumtaşı, kuvarsit, kireçtaşı, şeyl, Paleozoik-Mesozoyik zamanlarına ait sedimanter kayalar (Üşümezsoy, 1982; Taner ve Çağatay, 1983) ve Paleozoyik'e ait Permiyen granitoidinden oluşur. Istranca Masifi'nin metamorfik kayaları metagranit, mikaşist, mermer, kalsist ve kuvarsitten oluşur (Ketin, 1973).



Şekil 1.1. Marmara Bölgesi'ndeki litolojik birimleri gösteren jeoloji haritası (http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx)

1.2. Marmara Bölgesi'nin Tektoniği ve Depremselliği

Anadolu Levhası'nı yaklaşık 1600 km boyunca D-B uzanımlı kesen ve sağ yanal hareketli olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Marmara Bölgesi'nin tektoniğini belirleyen sistemdir (McKenzie, 1972; Şengör, 1979). Marmara Bölgesi Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batı ucunda yer almaktadır ve KAFZ tarafından meydana gelen doğrultu atımı ve Batı Anadolu'da kuzey–güney yönlü açılma rejiminin etkisindedir. Kuzey Anadolu Fayı, birçok parçadan meydana gelmiş ve 500-1000 m genişliğinde değişen bir fay zonu durumundadır (Ketin, 1969). Bu zonda parçalanmış kayaçlar, sıcak-soğuk su kaynaklarının çıkması, baraj göllerinin meydana gelmesi, volkanik olaylar görülmüştür (Ketin, 1969). Dewey ve Şengör (1979), Barka ve

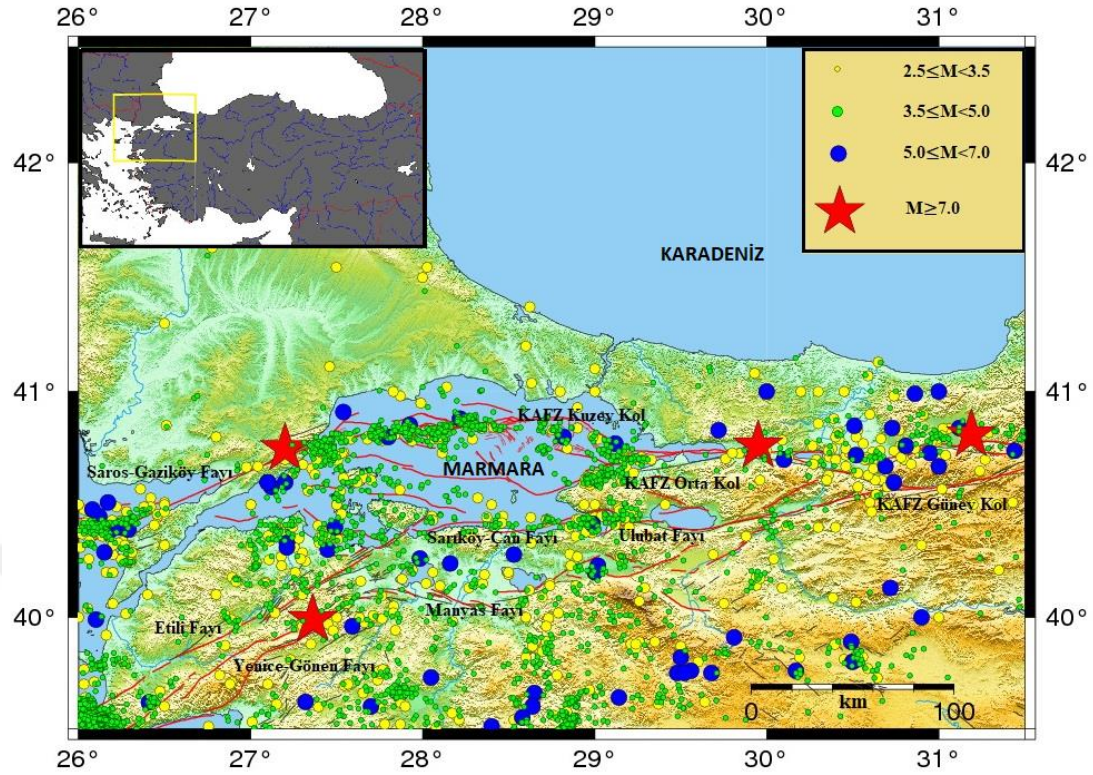
Kadinsky-Cade (1988), Şaroğlu ve diğ., (1992) tarafından yapılmış çalışmalarda Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Mudurnu'da üç kola (kuzey, güney ve orta kol) ayrılarak Marmara Bölgesi'nin tektoniğini belirlediği belirtilmiştir. Bölgede yapılmış GPS çalışmaları kuzey kola kıyasla orta ve güney kollar için atım miktarlarının düşük olduğunu göstermiştir (Straub, 1996; Straub ve Kahle, 1997). KAFZ'nin orta ve güney kollarında sismik aktivite daha dağınıktır (Gürbüz ve diğ., 2000).

Bölgenin tektoniğini belirleyen ana unsur olan KAFZ'nin yanı sıra bölgede daha küçük faylar da bulunmaktadır (Şekil 1.2.). Gelibolu Yarımadası'nın doğusunda, Gaziköy-Saros Körfezi arasında, yaklaşık 45 km uzunluktaki fay Saros-Gaziköy Fayı olarak adlandırılmıştır (Şaroğlu ve diğ., 1987). Bu bölümde, kademeli sıçramalar yapan ve birbirini tamamlayan birçok sağ yönlü doğrultu atımlı fay bulunmaktadır. Bu fay, Eosen ile Miyosen-Pliyosen devirlerine ait birimleri birbirinden ayırmaktadır. KAFZ'nin doğuda Sapanca ile batıda Gölcük arasında yer alan yaklaşık 125 km uzunlukta ve D-B genel gidişli birkaç parçadan oluşan bölümü Sapanca-Çınarcık arası bölüm olarak adlandırılmıştır (Şaroğlu ve diğ., 1987). Söz konusu fay, Sapanca ile Gölcük arasında yaklaşık 55 km uzunlukta, Gölcük-Çınarcık arasında yaklaşık 70 km uzunluktadır. Gölcük-Çınarcık arasındaki parça İzmit Körfezi'nin güneyini denetler. Doğuda Mustafakemalpaşa ile batıda Gönen arasında uzanan yaklaşık 70 km uzunluktaki fay Manyas Fayı olarak adlandırılmıştır (Şaroğlu ve diğ., 1987). Bu zonun içindeki en belirgin parça, güneyden kuzeye doğru Mustafakemalpaşa'dan geçen ve yaklaşık 25 km uzunlukta olan Çörtük-Çeltikçi parçasıdır. Manyas Fayı'nın Beyköy-Azatlı arasındaki ikinci parçası D-B doğrultulu ve 19 km uzunluktadır. Manyas Fayı'nın Kepekler-Gönen arasında uzanan 42 km'lik diğer bir parçası D-B genel gidişlidir (Şaroğlu ve diğ., 1987). Manyas Fayı'nın Gönen-Salur arasında uzanan 21 km'lik bölmü ise en belirgin izlenebilen parçasını oluşturur. 1964 Manyas depreminde (Ms=7,0) en fazla hasar, bu parça boyunca yoğunlaşmıştır. Manyas Fayı, Kemalpaşa Çayı ve Canbalı Deresi'ni 1 km sağ yönde ötelemiştir. Bu veriler, fayın normal bileşenli sağ yönlü doğrultu atımlı fay karakterinde olduğunu göstermektedir (Şaroğlu ve diğ., 1987). Yenice-Gönen arasında uzanan ve yaklaşık 70 km uzunluktaki fay Yenice-Gönen Fayı olarak adlandırılmıştır (Herece, 1985; Şaroğlu ve diğ. 1987). Manyas Fayı, Gönen-Çakmak arasında güneye sıçrayarak, Yenice-Gönen Fayı olarak devam eder. Morfolojik şekiller, 1953 Yenice-Gönen depremi (Ms=7,2) yüzey

kırığının (Ketin ve Roesli, 1953) ve fay düzlemi çözümlerinin (McKenzie, 1972), fayın sağ yönlü doğrultu atımlı bir diri fay olduğunu ortaya koymuştur. Sarıköy ile Çan arasında uzanan ve yaklaşık 60 km uzunluktaki fay Sarıköy Fayı (Şaroğlu ve diğ. 1987) ya da Sarıköy-İnova Fayı (Herece, 1985) olarak adlandırılmıştır. Fay, doğuda Gönen Çayı'nı keserek Sarıköy Ovası'nı kuzeyden sınırlar, Armutlu Köyü batısında Tahtalı Çayı'nı izleyerek Pençe Çayı boyunca devam eder ve güneybatıda İnova düzlüğünü doğudan sınırlar. Fay, ovada batı yönünde 1,5 km sıçrama yaparak Yukarıinova kuzeyinde, İnova düzlüğünü batıdan sınırlayarak güneybatıya doğru 16 km devam ederken, Samateli civarında belirginliğini kaybeder. İnova-Çan arasında, 4,5 km genişlikte birbirine paralel beş ana kırıktan oluşur. Morfolojiyi denetlemesi, Kuvaterner yaşlı çökelleri kesmesi ve 1983 Biga depremi (M_w=6,1), Sarıköy Fayı'nın diri fay olduğunu gösteren en önemli verilerdir. Fay, sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır. Etili-Ezine arasında uzanan yaklaşık 50 km uzunluktaki fay Etili Fayı olarak adlandırılmıştır (Şaroğlu ve diğ., 1987). Şaroğlu ve diğ. (1987), Yenice-Gönen ve Sarıköy Fayları'nın sağ yönlü olması nedeniyle Etili Fayı'nın da sağ yönlü olabileceğini belirtmişlerdir. Bandırma batısında, Kapıdağ Yarımadası'ndan başlayan, Edincik ve batıda Çirkinçavuş-Çifteçeşmeler arasında uzanan yaklaşık 30 km uzunluktaki kırık zonu, Edincik-Çifteçeşmeler Fay Zonu olarak adlandırılmıştır (Şaroğlu ve diğ., 1987). Morfolojiyi denetlemesi, Kuvaterner yaşlı çökelleri etkilemesi ve üzerindeki tarihsel depremler nedeniyle, söz konusu fay zonu diri fay olarak kabul edilmiştir. Bursa batısında, Ulubat Gölü güneyi boyunca uzanan yaklaşık 30 km uzunluktaki fay, Ulubat Fayı olarak adlandırılmıştır (Şaroğlu ve diğ., 1987). Morfolojik veriler fayın eğim atımlı normal fay olduğunu göstermiştir.

Marmara Bölgesi'nde tarihsel ve aletsel dönemde, can ve mal kayıplarına neden olan yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Osmanlı döneminde tutulan kayıtlara göre 1509, 1719, 1754, 1766, 1894 yıllarındaki depremler Marmara'yı en çok etkileyen depremler olarak kayda geçmiştir. Şiddeti IX olarak belirlenen ve Küçük Kıyamet olarak adlandırılan, etkileri Bolu'dan Edirne'ye kadar hissedilen 1509 depremi tarihsel dönemdeki en büyük depremdir. Bu depremde 6 metreyi geçen dalgaların Yenikapı'da surları aştığı bilgisi kayıtlarda yer almıştır (Altınok ve diğ., 2003). 1719 yılında meydana gelen başka bir depremde ise başta İzmit olmak üzere Sapanca, Yalova, Düzce'de önemli can ve mal kayıpları olmuştur (Demirtaş, 2000) ve depremin

muhtemelen İzmit'te meydana geldiği belirtilmiştir. Yine merkez üssü İzmit olduğu düşünülen 1754 depreminde de yıkıcı etkiye sahip bir deprem meydana gelmiştir. Bölgede 1766'da Silivri'nin güneyinde meydana gelen bir başka deprem, 1509'dan sonra bölgedeki en hasar yapıcı deprem olarak kayıtlara geçmiştir. Bu depremin İzmit Körfezi etrafında sıvılaşmaya neden olduğu bildirilmiştir (Demirtaş, 2000). Prens Adaları'nda meydana gelmiş ve İstanbul'dan Adapazarı'na kadar olan bölgede etkili olmuş 1894 depremi en çok bilinen tarihsel depremdir ve şiddeti X olarak verilmiştir. Aletsel dönem sürecinde ise Marmara Bölgesi'nde önemli ve büyük olan depremler 1912 Şarköy-Mürefte depremi (Ms=7,3), 1953 Yenice-Gönen depremi (Ms=7,2), 17 Ağustos 1999 Gölcük Depremi (M_w=7,4) olarak verilebilir. 1912 Şarköy-Mürefte depremi Ms 7,3 büyüklüğünde meydana gelen, bölgedeki yıkıcı ve büyük depremlerdendir. Ana şoktan hemen sonra, yangın ve heyelanlar meydana gelmesinin yanı sıra uzun bir süre artçı depremler de oluşmuştur (Macovei, 1913; Mihailovic, 1927). Deprem, 50 km boyunda bir sağ yanal doğrultu atım bileşenli normal fay mekanizmalı yüzey faylanmasına neden olmuştur (Ambraseys ve Finkel, 1987). 18 Mart 1953'te meydana gelen Yenice-Gönen depremi Kuzeybatı Anadolu'da geniş alanlarda hissedilmiştir. Yenice ile Gönen arasında yüzeyde izlenebilen 50 km uzunluğunda bir kırık hattı gelişmiştir. Odak merkezi İzmit, Gölcük olan ve yüzyılın depremi olarak nitelendirilen 1999 Gölcük Depremi (M_w 7,4) 125 km uzunluğunda sağ yanal atımlı bir yüzey kırığı meydana getirmiştir (Efe, 2000; Scawthorn ve Johnson, 2000). Ana fayın dışında, Gölcük'ün doğusunda yaklaşık 3,5 km; ana faydan altı kilometre uzaklıkta, İzmit Körfezi'nin kuzey kesiminde, Derince'nin kuzey sınırında; Hendek'in üç kilometre kadar kuzeybatısında yer alan üç evin yıkılmasına yol açmış olan 1300 m kadar izlenebilen; Düzce Fayı'nın batı ucuna karşılık gelen ve Düzce depremine yol açmış olan fay sisteminin, yaklaşık 7 km uzunluğundaki, 17 Ağustos depremi sırasında tetiklenmiş olduğu anlaşılan yüzey kırıkları da gelişmiştir (Arpat ve diğ, 2001). Bu deprem, yaklaşık 65000 km^2'lik bir alanda etkili olmuş; Yalova, İzmit, İstanbul, Adapazarı, Zonguldak, Bursa, Düzce ve Bolu'da ağır hasarlar meydana getirmiştir. Bu deprem sonucunda 18373 kişi ölmüş, 23781 kişi yaralanmış ve 285211 ev, 42902 işyeri hasar görmüştür.



Şekil 1.2. Marmara Bölgesi'nin tektonik ve depremsellik (1900-2019) haritası

1.3. Kuvvetli Yer Hareketi ve Parametreleri

Depremlerin belirli bir yerdeki etkilerinin değerlendirilmesi, kuvvetli yer hareketinin tanımlanmasını gerektirir. Kuvvetli yer hareketi, insanları ve çevresini etkileyebilecek hareketlerdir (Kramer, 1996). Kuvvetli yer hareketinde amaç, deprem sırasında oluşan yer ivmesini zamanın veya frekansın fonksiyonu olarak ölçmek ve yapıların deprem sırasındaki performanslarını izleyebilmektir. Sismometrenin periyodunun yer hareketinin periyodundan daha küçük olması halinde sismograf, doğrudan yer hareketinin ivmesi ile orantılı bir büyüklük kaydeder. Bu tür sismograflara ivme sismografı, ivmeölçer veya akselerograf adı verilir. Kuvvetli yer hareketleri ivmeölçerler ile ölçülür ve kayıtlarına akselerogram denir. İvme kayıtları, cm/sn^2 (gal) biriminde ölçülür. Yer hareketi parametreleri, nicel bir formda kuvvetli yer hareketinin karakteristiğini tanımlamak için temel oluşturmaktadır. Bu parametreler; genlik, frekans içeriği ve kuvvetli yer hareketinin süresidir.

1.3.1. Genlik parametreleri

Bir yer hareketinin tanımlanması genellikle zaman kayıtları yardımıyla yapılmaktadır (Kramer, 1996). Yer hareketi ile ilgili genlik parametreleri ivme, hız ve yer değiştirmedir. Tipik olarak bunlardan sadece biri ölçülür; diğer ikisi de integral ve/veya türev alma yoluyla hesaplanır. Kuvvetli yer hareketinin genliği ile ilgili kayıtlar kuzey-güney, doğu-batı ve düşey yönde olmak üzere üç bileşende alınır.

İvmenin zamana bağlı değişiminin önemli bir bölümü nispeten yüksek frekans içerir (Kramer, 1996). İvme değeri rijit yapıları etkileyen en büyük dinamik kuvvettir. Yer hareketi genlik belirlemesinde en çok kullanılan, pik (maksimum) yatay ivmedir. Pik yatay ivme (PHA-peak horizontal acceleration), yatay bileşen ivme kaydından elde edilen ivmenin mutlak değerce en büyük değeridir. Yüksek pik ivmeye sahip yer hareketi, düşük pik ivmeli harekete göre genellikle daha yıkıcı bir etkiye sahiptir; ancak bu her zaman geçerli olmayabilir. En büyük ivme kırılma doğrultusunda oluşur. Alüvyon nitelikli zeminlerde ivme değeri kaya zeminlere göre daha yüksektir. Deprem büyüklüğü arttıkça yatay ivme de artar. Genellikle yatay ivmeler düşey ivmeden daha büyüktür. Bununla beraber kırığa yakın yerlerde terslikler gözlenebilir. Düşey ivmeler (PVA-peak vertical acceleration) deprem mühendisliğinde daha az ilgi görür, çünkü yatay kuvvetlere göre tasarım çoğunlukla düşey dinamik yüklere karşı da dayanımı sağlamaktadır. Mühendislik tasarımlarında pik düşey ivme (PVA) genellikle PHA'nın üçte ikisi kadar kabul edilmektedir (Newmark ve Hall, 1982). Pik (maksimum) yatay hız (PHV-peak horizontal velocity) yer hareketi genliğinin karakterize edilmesi için kullanılan bir diğer parametredir. Hız, yer hareketinin yüksek frekans içeriğine daha az duyarlı olduğundan orta frekanslardaki yer hareketinin genliğini doğru bir şekilde tanımlama işlemi PHV ile daha doğru bir şekilde belirlenebilmektedir. Bu orta frekans aralığındaki yüklemelere karşı duyarlı yapı ve tesisler (yüksek veya esnek binalar, köprüler vb.) için potansiyel hasarı sağlıklı bir şekilde belirlemede PHV çok daha üstündür (Kramer, 1996). PHV ayrıca deprem şiddeti ile de ilişkilendirilmiştir (örn. Trifunac ve Brady, 1975; Krinitzsky ve Chang, 1987). Pik (maksimum) yer değiştirme (PGD-peak ground displacement) ise genellikle deprem hareketinin düşük frekanslı bileşenleriyle ilişkili olmaktadır. Bu değer, yer hareketinin düşük frekanstaki bileşenlerine daha hassastır. Ancak kayıtların işlenmesi ve akselerogramların integrasyonu nedeniyle doğru bir şekilde belirlenmesi çok zor olduğundan, pik ivme

ve pik hız parametrelerine göre daha az kullanılan bir parametredir (Campbell, 1985; Joyner ve Boore, 1988).

1.3.2. Frekans parametreleri

Frekans içeriği, yer hareketi genliğinin değişik frekanslarda nasıl dağılım gösterdiğini tanımlamaktadır. Deprem hareketleri geniş frekans aralıklarında dağılım gösterdiğinden, deprem hareketinin özellikleri mutlaka frekans içeriği dikkate alınarak tanımlanmalıdır. Büyük depremler, küçük depremlere göre daha uzun periyotlu yer hareketi oluştururlar. Bu açıdan yer hareketinin frekans içeriği, depremin büyüklüğü ile ilişkilidir. Sismik dalgalar bir faydan uzaklaşırken yüksek frekans bileşenleri saçılır ve düşük frekanslı bileşenlerden daha hızlı bir şekilde sönümlenir. Bunun sonucunda, frekans içeriği mesafeye bağlı olarak da değişim gösterir.

Kuvvetli yer hareketinin frekans içeriği farklı tür spektrumlar kullanılarak incelenir. Bunlardan Fourier spektrumu, hareketin frekans içeriğini doğrudan verir. Fourier spektrumları, deprem dalgasının hangi frekans bileşenlerini içerdiğini, hangi bileşenin genliğinin büyük olduğunu göstermek bakımından, o deprem dalgasının yapılara yapacağı etkinin kestirilmesinde yararlı olabilir. Bir kuvvetli yer hareketinin Fourier genlik spektrumu, hareketin genliğinin frekansa (veya periyoda) göre nasıl dağıldığını gösterir. Geniş bir spektrum penceresi, çok değişik frekansların olduğu düzensiz değişen bir hareketi temsil eder. Dar bant genişliğine sahip olan spektrumda baskın periyod belirgin ve frekans seçilebilirliği daha güvenilirdir. Kuvvetli yer hareketinin alındığı ortam zemin özellikte ise düşük frekansla (uzun periyod), kaya ortamında ise yüksek frekansla (kısa periyod) temsil edilir. Faz açıları harmonik hareketlerin piklerinin oluştuğu zamanları kontrol ettiğinden, Fourier faz spektrumu yer hareketinin zamana göre değişimini etkiler. Fourier genlik spektrumunun aksine, deprem kayıtlarının Fourier faz spektrumları karakteristik özellik göstermez (Kramer, 1996). Bir yer hareketinin frekans içeriği güç spektrumu veya güç spektrumu yoğunluk fonksiyonu ile de tanımlanabilir. Bu spektrum, ivmenin karesine ait zaman grafiğinin altındaki alan olarak tanımlanan yer hareketinin şiddetine dayanmaktadır. Güç spektrumu yoğunluk fonksiyonu ile bir yer hareketinin istatistiksel özellikleri bulunabilir ve rastgele titreşim teknikleri kullanılarak stokastik tepki hesaplanabilir (Clough ve Penzien, 1975; Vanmarcke, 1976; Yang, 1986). Tepki spektrumları ise

yapılar üzerinde yer hareketinin değişik doğal frekanslardaki etkisini temsil eder. İvme tepki spektrumu yapılara etkiyen kuvveti, yani zeminden yapıya deprem girişini verir. Hız tepki spektrumunda deprem hareketiyle oluşan enerjinin bir kısmı yapılar tarafından absorbe edilir. Bu spektrum yapılara geçen maksimum enerjiyi verir. Yerdeğiştirme tepki spektrumu ise, yer değiştirmenin veya şekil değiştirmenin büyüklüğünü göstermekte olup, yapı içindeki gerilmelerle ilişkilidir (Osaki, 1976).

1.3.3. Kuvvetli yer hareketinin süresi

Depremlerin yıkıcı etkileri üzerinde kuvvetli yer hareketinin süresi, genlik ve frekans parametreleri kadar etkili olabilmektedir. Süresi çok kısa olan büyük genlikli bir yer hareketi yapıda çok hafif bir düzeyde hasar oluştururken, süresi uzun olan daha düşük genlikteki bir yer hareketi yıkıcı bir hasar oluşturabilir (Kramer, 1996). Kuvvetli yer hareketinin süresi, fay boyunca biriken deformasyon enerjisinin yırtılma ile boşalması için gerekli olan zaman ile ilişkilidir. Fay yırtılmasının uzunluğu veya alanı büyürken, yırtılma için gerekli zaman da uzar. Sonuçta, artan deprem büyüklüğü ile beraber kuvvetli yer hareketinin süresi de uzar (Kramer, 1996).

1.4. Spektral Sönüm Parametresi Kappa (κ)

Sismik dalgaların genliği ve frekansı, kaynaktan kayıt istasyonuna kadar yayılım sırasında değişime uğrar. Sismolojik çalışmalarda sönümlenme, uzaklık ile genliğin azalımı olarak tanımlanır. Kalite faktörü olarak isimlendirilen ve bölgesel sönümü ifade eden, sismik dalgaların uzaklığa bağlı genlik azalımını açıklayan Q parametresi, yüksek frekanslarda gözlenen genlik azalımını ifade etmekte yetersiz kalmaktadır. Başlangıçta düşük frekanslarda, genlikler ω^2'de köşe frekansı f_c'ye kadar artar (Aki, 1967; Brune, 1970). Köşe frekansından sonra spektrumun şekli farklı bir hal almaktadır. Brune (1970)'nun ω^2 kaynak modelinde köşe frekansından yüksek frekanslarda sapmalar gözlenmiştir. Hanks (1982), bu sapmayı kesme frekansı (f_{max}) olarak adlandırmış ve spektrumun köşe frekansı f_c'den kesme frekansı f_{max}'a kadar düz olduğunu belirtmiştir. f_{max}'ın ötesinde ivme spektrumundaki azalım Boore (1983) tarafından,

$$[1+(f/f_{max})^8]^{(-1/2)} \qquad (1.1)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Yapılan bu çalışmalar, yüksek frekanslarda azalımın zemin koşullarıyla bağlantılı olduğunu göstermiştir. Papageorgiou ve Aki (1983) ile Purvance ve Anderson (2003) ise bu etkinin sismik kaynak kökenli olduğunu belirtmişlerdir. Ancak sismik kaynak kökenli etki, zemin koşullarından daha küçük etkiye sahiptir. Daha sonra Anderson ve Hough (1984), köşe frekansının üzerindeki frekanslarda gözlemledikleri bu üstel azalım olgusunu, yerel sönüm parametresi kappa (κ) olarak adlandırmış ve yüksek frekanslardaki genlik azalımını ifade eden eğimin bu parametreye bağlı olarak tanımlanabileceğini belirtmişlerdir. Yakın yüzey yüksek frekans sönüm parametresi kappa, depremlerin kuvvetli yer hareketi kayıtlarından belirlenmektedir. İvme kayıtlarında gözlenen önemli bir özellik, Fourier spektrumunun genliğinin belirli bir frekanstan itibaren hızla düşmesidir. Bu yüksek frekanslı sönümlenme genellikle üstel olarak modellenir. Log-lineer alanda ivme spektrumunun, A(f), lineer azalımının modeli olan spektral sönüm parametresi κ, yüksek frekanslı (>1 Hz) yer hareketi spektrumlarını tanımlamada kullanılır. Tüm kaynak yolunu ve alan etkilerini gerçekçi bir şekilde değerlendirmek için bir yer hareketi simülasyon modeli gereklidir. Stokastik çalışmalarda Fourier genlik spektrumu kaynak, yol ve zemin etkilerine bağlıdır. Stokastik yer hareketi simülasyonlarında yer hareketi modelini tanımlayan zemin etkisine bağlı olan parametre yüksek frekanslarda azalımı gösteren kappa parametresidir. Kuvvetli yer hareketinin stokastik simülasyonu için κ, yer hareketinin sönümünü temsil etmek için önemlidir. Literatürde yapılmış bazı çalışmalarda, yer hareketi simülasyonlarında stokastik yöntemlerle üretilen sentetik kayıtların spektral şeklini denetlemede teorik zemin büyütmesinin hesaplanması için yüksek frekanslardaki azalımı tanımlamada κ_0 değeri kullanılmıştır (Beresnev ve Atkinson, 1997, 1998; Boore, 2003; Sokolov ve diğ.,2004; Graves ve Pitarka, 2010; Mai ve diğ., 2010). Kappa, alana özgü bir özellik olduğundan bir bölgedeki mevcut kuvvetli yer hareketi verileri kullanılarak tahmin edilmesi gerekmektedir (Atkinson, 1996; Beresnev, 2002; Chapman ve diğ., 2003). κ değerleri oldukça geniş bir dağılım ile ilişkilidir. Bu nedenle bir alan için κ'nın daha güvenilir kestirimi, aynı tip jeoloji ile karakterize edilen tüm kayıt istasyonları için ortalama bir değer ile sağlanabilir. Kuvvetli yer hareketi çalışmalarında gerek yer hareketi tahmin denklemlerinin üretilmesinde, gerekse yer hareketinin benzeşiminin hesaplanmasında kaynak, dalga yayınımı ve sığ zemin yapısı özelliklerinin gerçeğe en yakın şekilde hesaba dahil edilmesi gerekmektedir.

Kappa (κ) parametresi, genlik spektrumlarının yüksek frekanslardaki eğimini tanımlar. κ için düşük değer çok miktarda yüksek frekans enerjisine sahip bir sismograma karşılık gelirken, yüksek bir değer minimum miktarda yüksek frekans enerjisine karşılık gelir. Kappa (κ), κ_R ve κ_0 kısımlarından oluşmaktadır. Anderson ve Hough (1984)'a göre κ_R sismik kalite faktörü Q ile ilişkilidir ve depremin dış merkez uzaklığına (R) bağlıdır. κ_0, R=0'daki kappa değeridir ve bu değer istasyonun bulunduğu zemine bağlı olduğundan, yakın yüzey jeolojiden dolayı sönümü gösteren faktördür ve her bir alana özgüdür. Bunlardan özellikle κ_0 deprem mühendisliği ve sismoloji alanındaki pek çok çalışmada yaygın olarak kullanılan bir parametre haline gelmiştir. Bu değer, son zamanlarda mühendislik-sismolojik uygulamalarda çok çeşitli saha koşullarında kullanılmaktadır. Yer hareketi tahminlerinin daha doğru yapılabilmesi için yer hareketi tahmin denklemlerinde, zemin büyütmesi hesabında ve yapay sismogram oluşturulmasında kullanıldığı çalışmalar görülmektedir (Anderson ve Humphrey, 1991; Toro ve diğ.,1997; Campbell, 2003; Atkinson ve Boore, 2006; Cotton ve diğ., 2006; Douglas ve diğ., 2006; Fahjan ve diğ., 2009; Edwards ve diğ., 2011; Uğurhan ve Askan, 2011; Laurendeau ve diğ., 2013; Al Atik ve diğ., 2014; Baltay ve Hanks, 2014; Van Houtte ve diğ., 2014; Zandieh ve diğ., 2016). κ_0 değeri, sediman kalınlığının belirlenmesinde de kullanılabilir. Sediman kalınlığının büyük olduğu alanlarda zemin sarsıntısı daha fazla hissedilir ve bu, daha büyük kappa değeri elde edilmesine neden olur.

İvme genlik-zaman spektrumunda S dalgası fazının belli bir kısmı işleme alınıp frekans ortamında kappa değerlerinin hesaplanması yapılır. Yapılmış çalışmalarda araştırmacılar tarafından S dalgası analizi için farklı pencere uzunlukları kullanıldığı görülmektedir (Durukal ve Çatalyürekli, 2004; Tanırcan ve Dikmen, 2018; Palmer ve Atkinson, 2020). Literatürde yapılmış çoğu çalışmada ise 5 sn'lik bir pencere uzunluğu kullanılmıştır (örn Parolai ve diğ., 2007; Douglas ve diğ., 2010; Askan ve diğ., 2014; Neighbors ve diğ., 2015; Lai ve diğ., 2016). Tsai ve Chen (2000), seçilen zaman penceresi uzunluğunun, S dalgası fazının temel kısmını içerdiği sürece, kappa hesaplamasında etkisinin düşük olduğunu bildirmiştir. Zaman ortamında S dalgası fazının belli bir bölümü işleme alınıp Fourier dönüşümü ile frekans ortamına aktarıldıktan sonra spektrumda genlik azalımının başladığı frekans noktası seçimi kappa parametresinin hesaplanmasında önemlidir. Spektrumda genlik azalımının

başladığı frekans noktası seçimi, köşe frekansının ötesinde seçilerek kaynak etkisinin giderilmesi amaçlanır. Hanks (1982), genliklerin f_c'nin üzerindeki frekanslarda düz bir şekilde olup, belirli bir frekanstan sonra (10-20 Hz aralığında) azalıma geçtiğini gözlemlemiştir. Anderson ve Hough (1984), yaptıkları çalışmada seçilen frekansın belirli bir limitinin olmadığını ileri sürmüşlerdir. Tsai ve Chen (2000) tarafından yapılmış çalışmada ise frekans seçiminin kappa üzerinde etkisinin fazla olmadığı ve hem kaynak hem de alana özgü olduğu belirtilmiştir. Kappa'nın deprem kaynak özellikleri ile ilişkisi ise bazı çalışmalarda incelenerek (Atkinson, 1996; Tsai ve Chen, 2000; Edwards ve diğ., 2011; Kilb ve diğ., 2012; Perron ve diğ., 2017; Chang ve diğ., 2019) zemin etkisinde olduğu kadar bir etki gözlenmediği sonucuna varılmıştır.

1.4.1.Kappa'nın uzaklık ile ilişkisi

Anderson ve Hough (1984), yaptıkları çalışmada kappa değerleri ile episantır uzaklığı arasında doğrusal bir ilişki belirlemişlerdir. Kappa ile ilgili yapılmış başka çalışmalarda da bu ilişki gözlenmiştir. Uzaklık arttıkça kappa değerleri de artma eğilimindedir. Kappa'nın uzaklıkla olan ilişkisinde geniş saçılımlar da görülmektedir. Yapılmış çalışmalarda uzaklık olarak episantır uzaklığının yanı sıra (örn Anderson ve Hough 1984; Douglas ve diğ., 2010; Chang ve diğ., 2019) hiposantır uzaklığının da kullanıldığı görülmektedir (örn Van Houtte ve diğ., 2011; Lermo ve diğ., 2016). Lai ve diğ., (2016) tarafından yapılmış çalışmada kabuksal depremler kullanıldığından episantır ve hiposantır uzaklıklarının belirgin bir etkisi olmadığı ve her iki uzaklık için de elde edilen κ_0 değerlerinde yaklaşık %2'lik bir fark gözlendiği bildirilmiştir.

1.4.2.Kappa'nın magnitüd ile ilişkisi

Kappa'nın magnitüdle bağımlılığı, uzaklıkla bağımlılığına göre az olmakla birlikte her ikisiyle de kappa'nın ilişkisi yapılan çalışmalarda gözlenmiştir. Bazı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda kappa parametresinin hem uzaklık hem de magnitüdle ilişkisi araştırılmış, yapılan çalışmalarda uzaklıkla artış gözlenirken magnitüdle olan ilişki için ise farklı yorumlar yapılmıştır. Bazı çalışmalarda magnitüd ile kappa arasında ilişki bulunmuşken (örn Atkinson ve Silva, 1997; Purvance ve Anderson, 2003; Durukal ve Çatalyürekli, 2004; Parolai ve diğ., 2007; Neighbors ve diğ., 2015) bazı çalışmalarda ise ilişki bulunamadığı bildirilmiştir (Fernández ve diğ., 2010;

Gentili ve Franceschina, 2011; Van Houtte ve diğ., 2011; Askan ve diğ., 2014; Castro ve diğ., 2015; Park ve diğ.,2016; Kumar ve diğ., 2018; Yadav ve diğ., 2018).

1.4.3.Kappa'nın vs_{30} ile ilişkisi

İstasyon bazlı parametre olan κ_0, her bir alana özgü olduğundan κ_0 ile Vs_{30} arasında bir ilişki olduğu düşünülebilir. Yüksek κ_0 değerleri, yüksek sönümü ve Vs_{30} değerinin düşük olduğunu gösterir. Düşük κ_0, daha az sönümü ve daha sağlam zeminleri ifade eder. Literatürdeki çalışmalar sağlam zeminler için elde edilen κ_0 değerlerinin alüvyon nitelikli alanlar için elde edilen değerlerden daha düşük çıktığını göstermiştir (örn Silva ve diğ., 1998; Chandler ve diğ., 2006; Edwards ve diğ., 2011; Van Houtte ve diğ., 2011; Ktenidou ve diğ., 2014; Stanko ve diğ. 2017; Chang ve diğ., 2019). Bazı çalışmalarda ise kappa ile Vs_{30} arasında ilişki bulunamadığı bildirilmiştir (Neighbors ve diğ., 2015; Huang ve diğ., 2017; Tanırcan ve Dikmen, 2018).

Yapılmış çalışmalardan bazılarında araştırmacılar tarafından çalıştıkları bölge ile kappa değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren bağıntılar elde edildiği görülmektedir. Silva ve diğ. (1999), Kaliforniya'da M6,9 1989 Loma Prieta depremini kaydeden 19 istasyondan ($329 \leq Vs_{30} \leq 1578$ m/sn) hesaplanan κ_0 0,004-0,068 sn değer aralığını kullanarak yaptıkları çalışmada κ_0 ile Vs_{30} arasında,

$$\log\kappa_0 = 1{,}655\text{-}1{,}093\log(Vs_{30}) \tag{1.2}$$

şeklinde bir bağıntı elde etmişlerdir. Chandler ve diğ. (2006) tarafından kappa değerleri ile Vs_{30} arasında,

$$\kappa = 0{,}057/(Vs_{30})^{0,8}\text{-}0{,}02 \tag{1.3}$$

olarak bir ilişki bulunmuştur ($500 \leq Vs_{30} \leq 3000$ m/sn). Edwards ve diğ. (2011) tarafından İsviçre'de yapılmış çalışmada,

$$\log\kappa = -2{,}78\text{x}10^{-4}(Vs_{30})\text{-}1{,}49 \tag{1.4}$$

ve,

$$\kappa = -8{,}38\text{x}10^{-6}(Vs_{30})+0{,}0289 \tag{1.5}$$

olarak kappa ile Vs_{30} arasında düşük bir korelasyon (R^2=0,38) elde edilmiştir. Van Houtte ve diğ. (2011) tarafından Japonya, Tayvan ve Amerika'daki veriler kullanılarak κ_0 ile Vs_{30} arasında,

$$\ln \kappa_0 = 3{,}490-1{,}062\ln(Vs_{30}) \quad (1.6)$$

düşük bir korelasyon bulunmuştur (R^2=0,39). Chang ve diğ. (2019) tarafından ise Tayvan'da 425 istasyon kullanılarak,

$$\kappa_0 = 0{,}125-0{,}011\ln(Vs_{30}) \quad (1.7)$$

şeklinde bir bağıntı elde edilmiştir (R^2=0,57).

1.4.4.Kappa'nın sediman kalınlığı ile ilişkisi

Kappa parametresinin sediman kalınlığına bağlı olduğu ile ilgili ilk çalışmayı yapanlardan Liu ve diğ. (1994) tarafından κ_0 değerleri ile sediman kalınlığı arasında,

$$\kappa_0 = 5{,}0+0{,}0499Z \quad (1.8)$$

olarak bir ilişki bulunmuştur. Burada κ_0 msn mertebesindedir, Z ise sediman kalınlığını gösterir ve birimi metredir. Chapman ve diğ. (2003) Amerika'nın Güney Carolina eyaletinde 0,9-2,4 magnitüd aralığındaki 26 depremi kullanarak $Vs_{30} \approx 700$ m/sn olan alanlarda 775 m sediman kalınlığı için κ_0 değerini 0,049 sn olarak hesaplamışlardır. Campbell (2009) tarafından Amerika'da, kappa değerlerinin kaya nitelikli olmayan zeminler için sediman kalınlığına güçlü bir şekilde bağlı olduğu, sediman alanlarda hesaplanan κ_0 değerlerinin genel olarak sedimanların kalınlığı ile doğrusal olarak arttığı bildirilmiştir ve,

$$Z = 15{,}8(\kappa_0-5{,}0) \quad (1.9)$$

şeklinde sediman kalınlığı ile κ_0 değerleri arasında bir ilişki elde edilmiştir (R^2=0,96). Huang ve diğ. (2017) sediman alanlarda kurulu istasyonlarda yaptıkları çalışmada sediman kalınlığının arttıkça κ_0 değerlerinde az da olsa bir artış olduğunu bildirmiştir. Chang ve diğ. (2019) Tayvan'da yaptıkları çalışmada hesapladıkları κ_0 değerleri ile sediman kalınlığı arasında düşük bir korelasyon bulduklarını (R^2=0,30); yine de κ_0 değerlerinin sediman kalınlığına göre değiştiği sonucuna varmışlardır. Amerika'da

yapılan başka bir çalışmada ise Chapman ve Conn (2016) tarafından kappa değerleri ile sediman kalınlığı arasında,

$$\kappa = 0{,}0533Z^{0{,}339} \quad (1.10)$$

olarak ilişki bulunmuştur (Z= sediman kalınlığı (km)).

1.4.5.Kappa hesaplama yöntemleri

Yapılmış çalışmalarda, kappa parametresinin hesaplanması için farklı yöntemler izlendiği görülmüştür. Bunlara kısaca aşağıda değinilmiştir:

Anderson ve Hough (1984) tarafından geliştirilen ve ivme spektrumu kullanılan yöntemde κ, S dalgası fazının Fourier ivme spektrumunda genlik azalımının başladığı frekans üzerindeki yüksek frekanslı kısımdan log-lineer alanda doğrudan hesaplanır. Bu yaklaşımda ilk başta, küçük magnitüdlü depremlerde kaynak etkisinden kaçınmak ve köşe frekansının üzerinde bir değer seçilmesi için daha çok, büyük magnitüdlü depremlerin seçimi tercih edilmiştir. Bu yöntem orijinal kappa olarak adlandırılmaktadır.

Anderson ve Humphrey (1991), Brune (1970) ω^2 modelinden eğimi yorumlayarak kappa hesaplamasını daha küçük büyüklükteki depremler için de uygulanmasını sağlamıştır (AH-Kappa).

Anderson ve Hough (1984) tarafından önerilen yaklaşım, f_c'nin üzerindeki spektral azalımı ölçmek için nispeten büyük magnitüdlü deprem verilerini kullanır. Biasi ve Smith (2001), yöntemi çok küçük büyüklüklere genişleten bir yaklaşım önermiştir (ML<1,0). Bu yaklaşımda κ, Fourier yer değiştirme spektrumu kullanılarak köşe frekansı f_c'nin altında hesaplanır.

Al Atik ve diğ. (2014), bir dizi büyüklük ve mesafe simülasyonu (20 km'den daha az) için yer hareketi tahmin denklemleri ile hesaplanan tepki spektrumundan uygun Fourier spektrumunu elde etmek için Rathje ve diğ. (2005)'nin tekniğini ve ters rasgele titreşim teorisini kullanmıştır. Buradan kappa, Fourier spektrumunun yüksek frekanslı kısmında ölçülebilmektedir. Ancak, oluşturulan her simülasyondan bir κ_0 değeri elde

edileceği için tüm κ_0 değerlerinin ortalaması alınarak tek bir değer elde edilmesi sağlanmaktadır.

Drouet ve diğ. (2010) tarafından kappa hesaplamasında transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Burada kappa parametresi, transfer fonksiyonunun yüksek frekans kısmından (>10 Hz) hesaplanmaktadır.

Silva ve Darragh (1995) tarafından önerilen, daha sonra da Silva ve diğ. (1998) tarafından kappa hesaplanmasını sağlamada kullanılan bir başka yöntem, belirli bir alanda hesaplanan zemin büyütmesi ile birlikte stokastik olarak üretilen ivme tepki spektrumlarını kullanır. κ_0 burada, nokta kaynaklı sismolojik model giriş parametrelerinden biridir ve tüm frekans aralığına uygulanır. Bu simüle edilmiş spektrumlar normalize edildikten sonra aralarında en uygununu veren κ girdisini hesaplamak için gözlemlenen tepki spektrumlarıyla karşılaştırılır. Yukarıda açıklanan yöntemlerden farkı, sadece yüksek frekanslı kısım için değil, tüm frekans bandında uygulanabilir olmasıdır.

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEM VE VERİLER

2.1. Yöntem

Kappa (κ) parametresi, sismik dalgaların geçtiği ortam ve yerel zemin koşullarına bağlı olarak değişken değerler almaktadır ve matematiksel olarak şu şekilde ifade edilmektedir:

$$A(f) = A_0 e^{-\pi\kappa f} , f>f_i \quad (2.1)$$

Bu modelde yüksek frekans azalımı, yakın yüzey ve yayılma yolu boyunca kaynaklanır. Burada A(f), log(ln)-lineer alanda ivme spektrumu; κ, sismik dalganın sönümünü ifade eden spektral azalım parametresi; f, frekans; f_i, spektral şeklin üstel bir azalımın lineer olarak varsayıldığının üzerindeki frekans (spektral azalımın başladığı frekans değeri) ve A_0 kaynak ile yayılma yoluna bağlı spektrumun genliğidir. Bu çalışmada, Anderson ve Hough (1984) tarafından önerilen log-lineer spektrumda genlik azalımının başlangıcı ve genlik azalımının sona erdiği iki frekans noktasının belirlenerek bu iki frekans arasında en küçük kareler yöntemine göre lineer bir doğru geçirilmesi esasına dayanan metot kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. En küçük kareler yöntemini kullanarak κ parametre değerleri aşağıdaki ilişkiyi kullanarak bir dizi frekans (Δf) üzerinden ivme spektrumunun (α) eğimi λ'dan hesaplanır:

$$\kappa = -\lambda/\pi , \lambda = \Delta(\ln\alpha)/\Delta f \quad (2.2)$$

Anderson ve Hough (1984) tarafından episantır uzaklığı ve κ arasında doğrusal bir ilişki gözlenmiştir. Bu ilişki,

$$\kappa = \kappa_0 + \kappa_R R \quad (2.3)$$

ile verilmiştir.

2.2. KAPPA_KOU Matlab Tabanlı Program

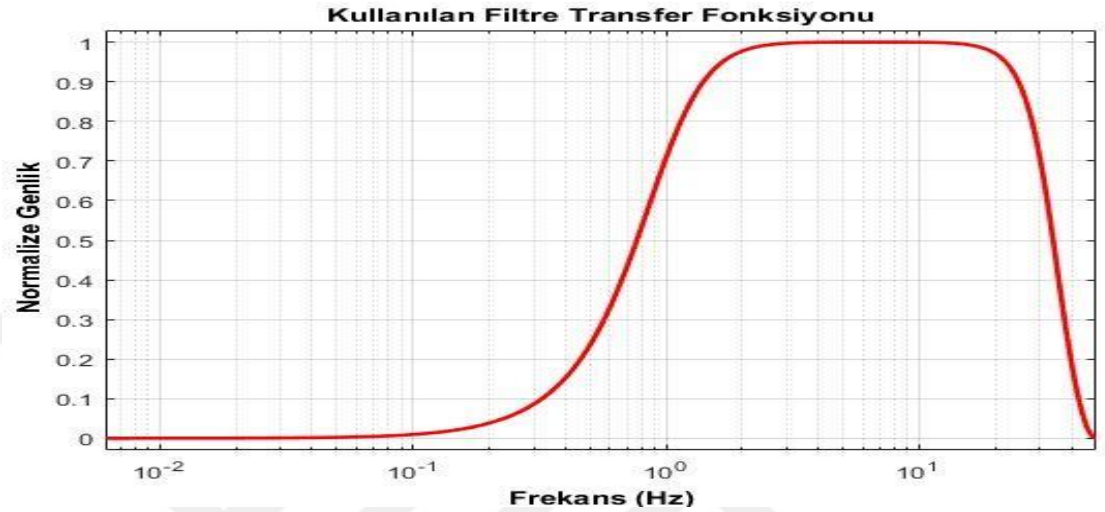
Bu çalışmada gerçekleştirilen hesaplamalar, Anderson ve Hough (1984) tarafından önerilen yöntem kullanılarak KAPPA_KOU isimli Matlab üzerinde yazılmış program ile gerçekleştirilmiştir. Program ilk aşamada depremlere ait ivme kayıt verisinin okumasını yapmaktadır. Deprem oluş tarihi, episantır ve istasyon koordinatları, depremin magnitüdü, üç bileşene ait en yüksek yer ivmesi değerleri gibi "header" bilgileri gerekli adımlarda kullanılmak üzere program tarafından okunmaktadır (Şekil 2.1.).

```
STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE                    : ÝSTANBUL TUZLA ILLER BANKASI SOS.TESISLERI
EARTHQUAKE DATE          : 2016/01/30 09:03:14 (GMT)
EPICENTER COORDINATES    : 40.77350N-28.02580E
EARTHQUAKE DEPTH (km)    : 7.02
EARTHQUAKE MAGNITUDE     : 3.5 Mw
STATION ID               : 3418
STATION COORDINATES      : 40.81459N-29.27546E
STATION ALTITUDE (m)     : 5
RECORDER TYPE            : Guralp cmg5td
RECORDER SERIAL NO       : T5J38
RECORD TIME              : 30/01/2016 09:03:10.000000 (GMT)
NUMBER OF DATA           : 10364
SAMPLING INTERVAL (sec)  : 0.01
RAW PGA VALUES (gal)     : (N-S) 0.079799 (E-W) 0.071653 (U-D) 0.033985
Copyright EARTHQUAKE DEPARTMENT
DISASTER AND EMERGENCY MANAGEMENT PRESIDENCY
       N-S           E-W           U-D
   -0.000212      0.000727      0.000588
    0.000728      0.001667      0.000903
   -0.001152      0.001354     -0.000672
   -0.001152     -0.000526     -0.000357
   -0.000212      0.000414     -0.000042
   -0.000839      0.000414      0.000903
    0.000101      0.000414      0.000273
   -0.000839      0.001041     -0.000042
    0.000101      0.001667     -0.000672
   -0.001152      0.000414     -0.000042
```

Şekil 2.1. Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı'ndan indirilen örnek deprem ivme kaydına ait veri dosyası (http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php)

Veri işlem aşamasında deprem ivme kayıtlarına 1-30 Hz aralığında n=4. dereceden band geçişli Butterworth filtre uygulanmıştır (Şekil 2.2.). Band geçişli filtrelemede hem yüksek hem de alçak geçişli filtre özelliği görülmektedir. Burada bir geçiş bölgesi tanımlanır ve belirli iki frekans arasındaki değişimler ele alınıp bu alanın dışındakiler süzülür. Bu sayede fazla düşük ve fazla yüksek frekanslı olaylar veriden atılmış olur. Butterworth süzgecin derecesi, filtrelenen noktanın hesaplanması için kullanılan veri

noktalarını tanımlar. Butterworth filtre derecesi arttığında diğer filtrelerden farklı olarak durma bandında sert düşüş dışında frekans genlik eğrisinde şeklini korur. Bu yüzden bu filtrenin 4. dereceden olması daha ideale yakın bir filtre olmasını sağlayacak ve sistem doğruluğunu arttıracaktır.

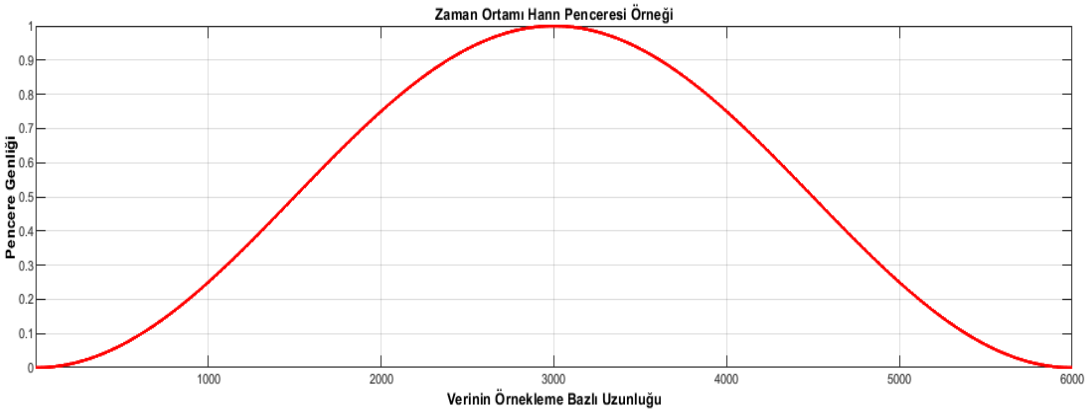


Şekil 2.2. Band geçişli Butterworth süzgece (n=4, süzgeç derecesi) ait tepki fonksiyonu

Depremlere ait ivme kayıtlarına Butterworth filtrenin yanı sıra Hanning penceresi de uygulanmıştır (Şekil 2.3.). Pencere fonksiyonları, istenmeyen salınımları ortadan kaldırmak için kullanılır. Bu fonksiyonlar her sonlu dizinin sınırlarındaki süreksizliklerin genliğini azaltır. Pencereleme, zaman kaydını, kenarlarda düzgün ve kademeli olarak sıfıra doğru değişen bir genlik ile sonlu uzunlukta bir pencere ile çarpmaktan ibarettir. Bu çalışmada kullanılan Hanning penceresi ilk olarak Avusturyalı meteorolog J. V. Hann tarafından önerilmiştir. Zaman ortamında,

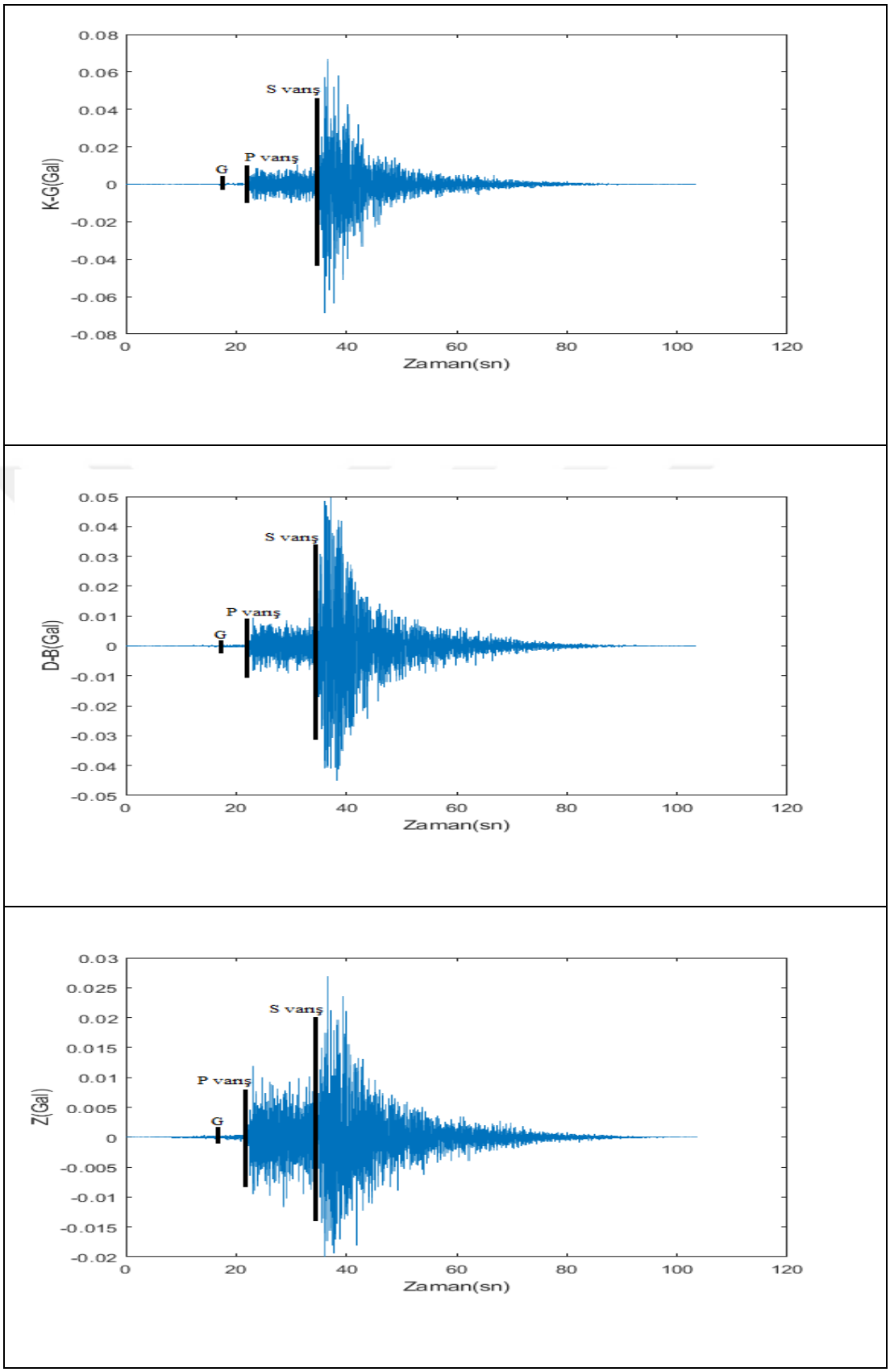
$$W(n) = 0{,}5\text{-}0{,}5\cos(2\pi n/N),\ n=0, 1, 2, 3, \ldots, N\text{-}1 \qquad (2.4)$$

olarak verilir. Hann penceresinin yan salınım genliklerinin hızla azalması nedeniyle, yüksek frekanslarda yer alan düşük enerji düzeyli sinyallere enerji sızmasını önler ve bu sinyalleri ortaya çıkarmada başarılı bir penceredir.

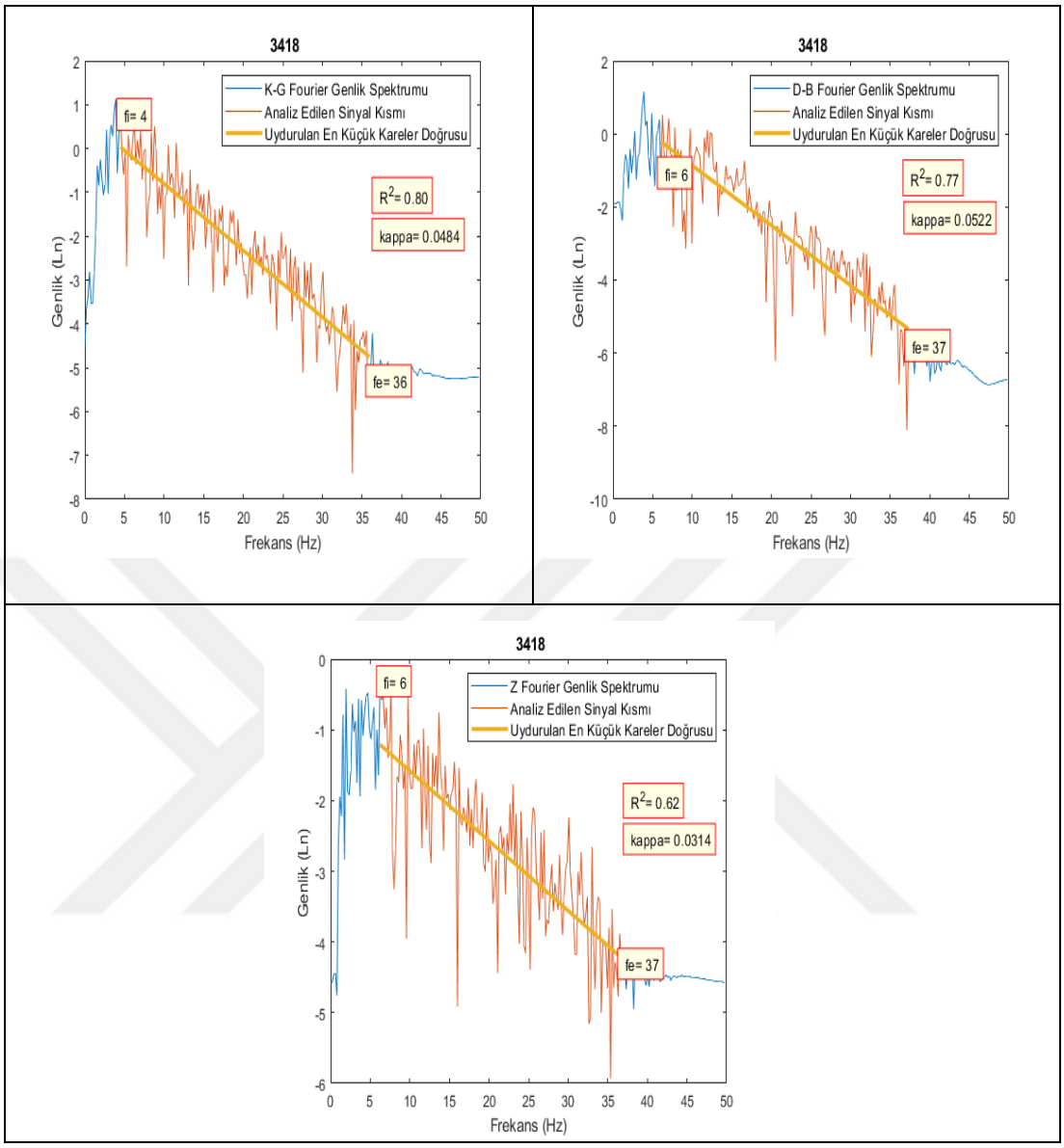


Şekil 2.3. N veri uzunluğu (N=6000) için Hanning penceresine ait tepki fonksiyonu

Çalışmada episantır uzaklıkları 200 km'den büyük olan veriler kullanılmamıştır. 200 km'den daha az episantır uzaklıklarında kaydedilmiş her bir kayıt için P ve S dalgalarının varış zamanları manuel olarak belirlenmiştir. Programda yatay ve düşey bileşen kayıtları ayrı ayrı çizdirilerek P ve S dalgası fazlarının varış zamanlarının işaretlemesi yapılmıştır. Kappa parametresi hesaplamasında S dalgası seçimi önemli olduğundan, S dalgasının ana bölümünü ve maksimum genliğini içeren bir pencere uzunluğu kullanılmalıdır. Bu çalışmada P dalgası varışı öncesi 5 sn uzunluktaki bir zaman penceresi gürültü kısmı olarak, S dalgası varışı itibariyle 5 sn uzunluktaki pencere de sinyal kısmı olarak alınmıştır (Şekil 2.4). Programda sinyal-gürültü oranı 3'ten büyük olan veriler analiz edilmiştir. Bu kriteri sağlayan ivme kayıtlarından programda seçilen S dalgasının kısmı, hızlı Fourier dönüşümü ile frekans alanına aktarılmıştır. Son aşama olarak log-lineer ölçekte çizilen x ekseni frekans, y ekseni genlik bilgilerinden oluşan Fourier spektrumunda genlik azalımının başladığı (f_i) ve genlik azalımının sona erdiği (f_e) iki frekans noktası seçimi yapılmış ve seçilen bu iki frekans noktası arasından en küçük kareler metodu kullanılarak spektrumda doğru geçirilmiştir. Bu doğrunun eğiminden Eşitlik 2.2 kullanılarak her bir istasyon için kullanılan üç bileşen deprem ivme kaydına ait kappa parametre değerleri hesaplanmıştır (Şekil 2.5). Bu işlemler depremlere ait hem yatay bileşenler hem düşey bileşen için gerçekleştirilmiştir. Yatay bileşenler için, elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.



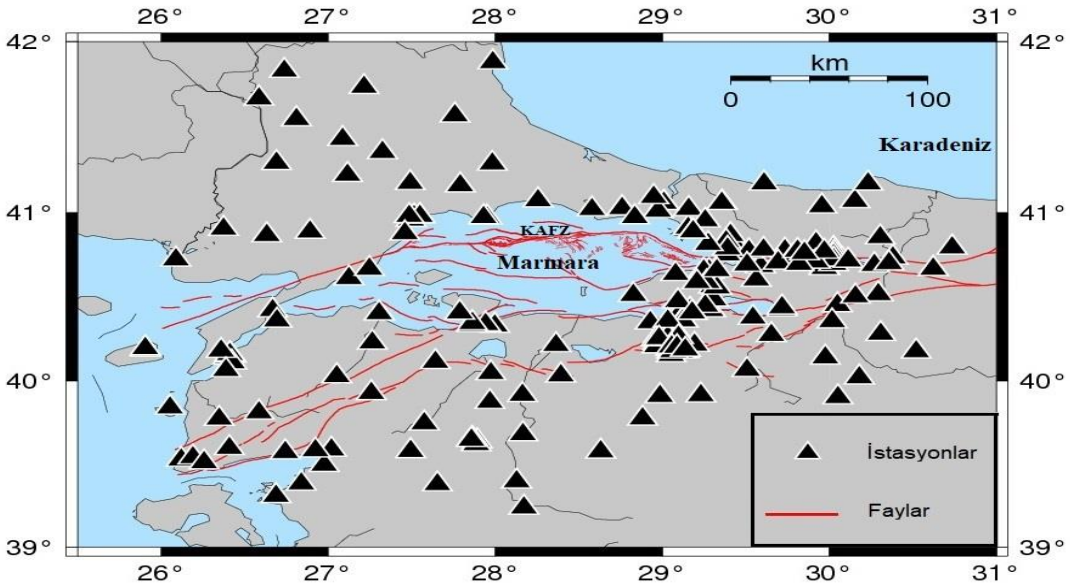
Şekil 2.4. İstanbul'da bulunan 3418 kodlu istasyonda ML 3,5, 01/30/2016 09:03:14 (GMT) tarihli depreme ait yatay ve düşey bileşen ivme kayıtları üzerinde P ve S dalga fazları ile gürültü kısımlarının (G) belirlenmesi



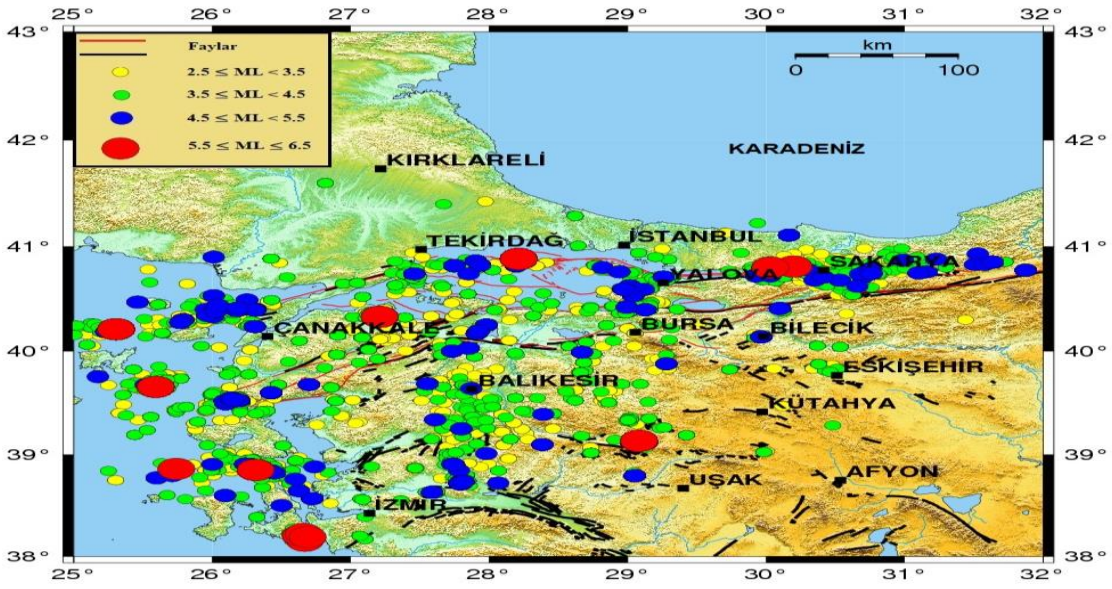
Şekil 2.5. İstanbul'da bulunan 3418 kodlu istasyonda ML 3,5, 01/30/2016 09:03:14 (GMT) tarihli depreme ait Fourier genlik spektrumları, f_i ve f_e değerleri, en küçük kareler yöntemi ile geçirilen doğru, hesaplanan kappa değerleri ve korelasyon katsayısı (R^2)

2.3. Çalışmada Kullanılan Veriler

Çalışmada, AFAD tarafından işletilen Marmara Bölgesi'ndeki 217 kuvvetli yer hareketi istasyonu kullanılmıştır. 1983-2019 yılları arasında kaydedilmiş, büyüklükleri 2,5≤ML≤6,5, derinlikleri h<42 km ve episantır uzaklıkları R≤200 km olan 1473 depreme ait 6837 üç bileşen ivme kaydı kullanılmıştır (Şekil 2.6-2.7).



Şekil 2.6. AFAD tarafından işletilen Marmara Bölgesi'ndeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarının dağılımı



Şekil 2.7. Marmara Bölgesi'ndeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarında kaydedilmiş ve bu çalışmada kullanılan depremlerin episantır dağılımları

Çalışmada kullanılan deprem ivme kayıtlarına ait veriler AFAD Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı (TR-KYH)'ndan (http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php) indirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan deprem bilgileri AFAD tarafından tanımlanmıştır. İstasyonların bulunduğu zeminlere ait litolojik bilgiler MTA Yer Bilimleri uygulamasından alınmıştır (http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx). Kappa ile magnitüd arasındaki ilişkiyi

incelemek için bütün depremlerin aynı tür büyüklük tanımlanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle tanımlamalarda süreye bağlı magnitüdteki (Md) depremlerin büyüklükleri, Kalafat (2016) tarafından önerilen,

$$ML = 0{,}9897Md+0{,}0978 \quad (2.5)$$

bağıntısı kullanılarak lokal magnitüde (ML) dönüştürülmüştür. Moment magnitüd (M_w) bilgisi olan depremlerin Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/) ile EMSC (https://www.emsc-csem.org/Earthquake/?filter=yes) deprem kataloglarındaki ML değerleri çalışma kapsamında kullanılmıştır.

Yüksek frekanslarda spektral sönüm parametresini ifade eden kappa değerlerini hesaplamada nispeten yakın alan depremler kullanılmıştır. Episantır uzaklıkları 200 km'den büyük deprem kayıtları yüksek periyotlar içerdiği için çalışmada kullanılmamıştır. Sinyal-gürültü oranı 3'ten küçük olan veriler çalışmaya dahil edilmemiştir. Fourier spektrumunda genlik azalımının başladığı f_i değerleri 1-18 Hz, genlik azalımının sona erdiği f_e değerleri ise 12-50 Hz aralığında değişmektedir. Çalışmada kullanılan istasyonların bulunduğu zemin yüzeyinin ilk 30 m altı için kesme dalgası hızı (Vs_{30}) $181 \leq Vs_{30} \leq 1747$ m/sn arasında değişmektedir (http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php ve UDAP-G-15-04). Tablo 2.1'de NEHRP'e göre tanımlanan kesme dalgası hız sınıflaması kullanılarak istasyon zeminleri gruplandırılmıştır (Tablo 3.1.).

Marmara Bölgesi'nde kurulu kuvvetli yer hareketi istasyonlarının kodları ve koordinatları, kullanılan deprem veri sayıları (N) ve istasyonların bulunduğu zemine ait kesme dalgası hız ve litoloji bilgileri Tablo 2.2'de görülmektedir.

Tablo 2.1. NEHRP'te tanımlanan zemin grupları (BSSC, 2003)

Zemin Sınıfı	Stratigrafik Tanımlama	Parametreler		
		Vs_{30} (m/sn)	N_{SPT} 30cm	C_u(kPa)
A	Sert Kaya	>1500	-	-
B	Kaya	760-1500		

Tablo 2.1. (Devam) NEHRP'te tanımlanan zemin grupları (BSSC, 2003)

C	Çok yoğun zemin ya da yumuşak kaya	360-760	>50	>100
D	Sert zemin	180-360	15-50	50-100
E	Zemin veya kalınlığı 3m'den fazla, PI>20, w>40% ve S_u<25kPa olan yumuşak kil birimleri	<180	<15	<50
F	Ayrıntılı değerlendirme gerektiren zeminler 1. Sıvılaşabilir zeminler, hızlı ve yüksek duyarlılıklı killer, zayıf çimentolu zemin birimleri, 2. Turba ve/veya kalınlığı 3m'den büyük yüksek organik içeren kil birimleri 3. Kalınlığı 8m'den büyük ve PI>75 olan çok yüksek plastisiteli kil birimleri 4. Kalınlığı 36 m'den büyük, Su>50kPa olan çok kalın, yumuşak/orta-yumuşak sıkı kil birimleri			

Tablo 2.2. Çalışmada kullanılan istasyonlarının kodları ve koordinatları, deprem sayıları (N), istasyonların bulunduğu zemine ait kesme dalgası hızı ve litoloji bilgileri

	İst. Kodu	Enlem (°N)	Boylam (°E)	Veri (N)	Vs_{30} (m/sn)	Litoloji Açıklama
1	1001	39.65003	27.85686	82	662	Ayrılmamış volkanitler
2	1002	39.6392	27.89364	2	429	Karasal kırıntılılar
3	1003	39.65499	27.86204	150	460	Ayrılmamış volkanitler
4	1004	39.62192	27.88771	3	311	Karasal kırıntılılar
5	1005	39.31134	26.68601	138	387	Ayrılmamış volkanitler
6	1006	40.33193	27.99662	79	321	Karasal kırıntılılar
7	1007	40.34135	27.94225	2	417	Karasal kırıntılılar
8	1008	39.39786	28.12733	101	300	Ayrılmamış Kuvaterner
9	1009	39.57798	28.63232	92	561	Ofiyolitik melanj
10	1011	40.33601	27.86104	90	330	Karasal kırıntılılar
11	1012	40.34648	27.86182	1	520	Sist, fillit, mermer, metabazit vb.
12	1013	39.58952	27.01924	52	223	Ayrılmamış Kuvaterner
13	1014	40.11554	27.64188	57	397	Ayrılmamış Kuvaterner
14	1015	39.23951	28.1714	112	238	Ayrılmamış Kuvaterner
15	1016	39.38041	27.65438	158	430	Karasal kırıntılılar
16	1017	39.64966	27.85715	62	662	Ayrılmamış volkanitler
17	1018	40.40929	27.78783	105	555	Ayrılmamış Kuvaterner
18	1019	39.49795	26.97534	86	444	Ayrılmamış Kuvaterner
19	1020	39.91714	28.16411	70	293	Ayrılmamış Kuvaterner
20	1021	39.74736	27.57619	110	-	Ayrılmamış volkanitler
21	1022	39.5817	27.49364	67	-	Karasal kırıntılılar
22	1023	39.68246	28.16661	72	-	Karasal kırıntılılar
23	1024	40.04748	27.97403	78	-	Karasal kırıntılılar
24	1025	39.8745	27.9684	16	-	Andezit
25	1026	39.38445	26.83862	12	-	Ayrılmamış Kuvaterner
26	1027	39.57383	26.7422	18	-	Granitoyidler
27	1028	39.5855	26.92303	7	-	Ayrılmamış Kuvaterner
28	1101	40.14106	29.9774	51	901	Karbonatlar ve kırıntılılar
29	1102	39.90433	30.05292	19	402	Ayrılmamış Kuvaterner
30	1103	40.2822	30.30828	7	-	Ayrılmamış Kuvaterner
31	1104	40.35737	30.01831	5	-	Ayrılmamış Kuvaterner
32	1105	40.02311	30.179	7	-	Evaporitli sedimenter kayalar
33	1106	40.17687	30.52085	10	-	Ayrılmamış Kuvaterner
34	1601	40.22566	29.07518	11	249	Ayrılmamış Kuvaterner
35	1602	40.194	29.0509	2	272	Ayrılmamış Kuvaterner
36	1603	40.1824	29.1296	5	459	Ayrılmamış Kuvaterner
37	1604	40.1831	29.1273	15	459	Ayrılmamış Kuvaterner
38	1605	40.27343	29.09589	6	488	Ayrılmamış Kuvaterner

Tablo 2.2. (Devam) Çalışmada kullanılan istasyonlarının kodları ve koordinatları, deprem sayıları (N), istasyonların bulunduğu zemine ait kesme dalgası hızı ve litoloji bilgileri

39	1606	40.36298	29.12207	16	274	Kırıntılılar (yer yer karasal)
40	1607	40.39437	29.09803	22	370	Ayrılmamış Kuvaterner
41	1608	40.41049	29.17928	9	366	Ayrılmamış volkanitler
42	1609	40.42539	29.16658	26	228	Ayrılmamış Kuvaterner
43	1610	40.06708	29.50882	16	252	Ayrılmamış Kuvaterner
44	1611	40.4292	29.7168	12	251	Ayrılmamış Kuvaterner
45	1612	40.44163	29.71688	3	197	Ayrılmamış Kuvaterner
46	1613	39.91509	29.23167	89	412	Gölsel karbonatlar
47	1614	40.03471	28.39392	35	265	Ayrılmamış Kuvaterner
48	1615	40.42236	29.2907	9	348	Alüvyon Yelpazesi, yamaç molozu, moren
49	1616	40.44975	29.25875	4	570	Mermer
50	1617	40.49411	29.2993	4	1602	Mermer
51	1618	40.35095	28.92815	53	314	Karasal kırıntılılar
52	1619	40.42236	29.2907	47	348	Alüvyon Yelpazesi, yamaç molozu, moren
53	1620	40.1824	29.1296	31	459	Ayrılmamış Kuvaterner
54	1621	40.22686	28.97558	37	396	Karasal kırıntılılar
55	1622	40.19595	29.05271	11	448	Ayrılmamış Kuvaterner
56	1623	40.26537	29.03344	16	377	Ayrılmamış Kuvaterner
57	1624	40.177	29.0567	20	-	Gnays
58	1625	40.26296	29.09909	4	394	Ayrılmamış Kuvaterner
59	1626	40.2403	28.98243	19	448	Karasal kırıntılılar
60	1627	40.22566	29.07518	10	249	Ayrılmamış Kuvaterner
61	1628	40.27343	29.09589	37	488	Ayrılmamış Kuvaterner
62	1629	40.42539	29.16658	34	229	Ayrılmamış Kuvaterner
63	1630	40.36298	29.12207	23	301	Kırıntılılar (yer yer karasal)
64	1631	40.4865	29.3081	20	410	Mermer
65	1632	40.41049	29.17928	25	366	Ayrılmamış volkanitler
66	1633	40.2147	28.3632	30	375	Ayrılmamış Kuvaterner
67	1634	39.77632	28.88207	14	-	Granitoyidler
68	1635	40.44965	29.2587	9	-	Mermer
69	1636	40.21709	29.19462	7	-	Ayrılmamış Kuvaterner
70	1637	40.47632	29.09463	11	-	Ayrılmamış Kuvaterner
71	1638	40.36115	29.0333	5	-	Kırıntılılar (yer yer karasal)
72	1639	40.3776	29.54177	8	-	Kırıntılılar ve karbonatlar (flis)
73	1640	39.91117	28.98677	22	-	Karasal kırıntılılar
74	1641	40.27685	29.65245	10	-	Ayrılmamış Kuvaterner
75	1642	40.41049	29.17928	8	366	Ayrılmamış volkanitler
76	1643	40.15546	29.05457	3	-	Gnays
77	1644	40.17834	29.10741	1	-	Ayrılmamış Kuvaterner
78	1645	40.17828	29.06555	1	-	Ayrılmamış Kuvaterner
79	1646	40.20908	28.96804	3	-	Karasal kırıntılılar
80	1647	40.25146	28.964	2	-	Karasal kırıntılılar
81	1648	40.25523	28.98029	2	-	Karasal kırıntılılar
82	1649	40.26578	29.09591	2	-	Ayrılmamış Kuvaterner
83	1650	40.20662	29.05789	2	-	Ayrılmamış Kuvaterner
84	1651	40.20549	29.0893	2	-	Ayrılmamış Kuvaterner
85	1652	40.18857	29.13903	2	-	Ayrılmamış Kuvaterner
86	1701	40.14145	26.39948	115	192	Ayrılmamış Kuvaterner
87	1702	40.15247	26.41913	3	364	Ayrılmamış Kuvaterner
88	1703	40.23182	27.26288	72	304	Ayrılmamış Kuvaterner
89	1704	39.77388	26.34563	250	403	Karasal kırıntılılar
90	1706	40.40421	27.30613	1	683	Ayrılmamış Kuvaterner
91	1707	39.92916	27.25908	136	324	Ayrılmamış Kuvaterner
92	1708	39.8419	26.0528	125	1005	Andezit
93	1709	40.19082	25.90783	1	-	Kırıntılılar ve karbonatlar
94	1710	40.42334	26.66715	72	286	Karasal kırıntılılar
95	1711	40.19082	25.90783	178	403	Kırıntılılar ve karbonatlar
96	1712	40.40396	27.30349	116	683	Ayrılmamış Kuvaterner
97	1713	40.16216	26.41166	115	483	Ayrılmamış Kuvaterner
98	1714	40.11291	26.42205	164	429	Karasal kırıntılılar
99	1715	40.36316	26.69225	47	214	Ayrılmamış Kuvaterner
100	1716	39.59965	26.40761	132	366	Ayrılmamış Kuvaterner
101	1717	40.1818	26.3578	22	238	Ayrılmamış Kuvaterner
102	1718	39.81328	26.58622	147	-	Karasal kırıntılılar
103	1719	40.02934	27.04996	52	-	Ayrılmamış Kuvaterner
104	1720	39.52943	26.11962	121	-	Piroklastik
105	1721	39.54351	26.19045	154	-	Piroklastik
106	1722	40.19739	25.9034	29	-	Ayrılmamış Kuvaterner
107	1723	40.0662	26.3872	36	-	Karasal kırıntılılar
108	1724	39.51288	26.25777	6	-	Dasit, riyolit, riyodasit

Tablo 2.2. (Devam) Çalışmada kullanılan istasyonlarının kodları ve koordinatları, deprem sayıları (N), istasyonların bulunduğu zemine ait kesme dalgası hızı ve litoloji bilgileri

109	2201	40.72448	26.08731	85	315	Ayrılmamış Kuvaterner
110	2202	41.67049	26.58585	23	322	Karasal kırıntılılar
111	2203	40.8681	26.6319	51	709	Kırıntılılar ve karbonatlar
112	2204	41.2932	26.6899	10	441	Kırıntılılar
113	2205	41.83031	26.73635	4	-	Neritik kireçtası
114	2206	41.55047	26.80923	8	-	Karasal kırıntılılar
115	2207	40.90486	26.37401	4	-	Ayrılmamış Kuvaterner
116	3401	41.0582	29.00951	33	595	Flis
117	3405	40.91111	29.15668	20	543	Kırıntılılar
118	3406	41.02262	29.15884	15	436	Kırıntılılar ve karbonatlar
119	3407	41.0582	29.00951	14	595	Flis
120	3408	41.07339	28.25569	36	639	Kırıntılılar
121	3409	41.02651	28.75884	9	283	Kırıntılılar
122	3410	41.17189	29.60816	26	587	Kırıntılılar ve karbonatlar
123	3411	41.01187	28.97605	29	323	Kırıntılılar ve karbonatlar
124	3412	41.02058	28.57821	16	247	Ayrılmamış Kuvaterner
125	3413	41.09433	28.94818	35	452	Karasal kırıntılılar
126	3415	41.02729	28.75848	41	283	Kırıntılılar
127	3416	40.97466	28.83635	19	420	Karasal kırıntılılar
128	3417	40.95471	29.25627	22	1747	Kırıntılılar
129	3418	40.81459	29.27546	18	1182	Karbonatlar ve kırıntılılar
130	3419	41.06099	29.35799	22	-	Karbonatlar ve kırıntılılar
131	3420	41.05891	29.35633	8	-	Karbonatlar ve kırıntılılar
132	3421	40.89022	29.18363	12	-	Kırıntılılar
133	3422	40.89022	29.18363	7	-	Kırıntılılar
134	3423	40.89022	29.18363	7	-	Kırıntılılar
135	3901	41.73774	27.21509	13	500	Karasal kırıntılılar
136	3902	41.35705	27.32483	33	317	Ayrılmamış Kuvaterner
137	3903	41.8815	27.9853	8	515	Karasal kırıntılılar
138	3904	41.43276	27.08565	3	-	Karasal kırıntılılar
139	3905	41.57237	27.75977	11	-	Kırıntılılar
140	4101	40.7665	29.91721	1	826	Karasal kırıntılılar
141	4102	40.78463	30.02649	6	1000	Kırıntılılar ve karbonatlar
142	4103	40.78577	30.02504	4	1013	Kırıntılılar ve karbonatlar
143	4104	40.68038	29.96998	24	770	Ayrılmamış volkanitler
144	4105	40.67441	29.96935	41	289	Ayrılmamış volkanitler
145	4106	40.78627	29.45003	17	701	Karbonatlar ve kırıntılılar
146	4107	40.7602	29.9324	20	305	Ayrılmamış Kuvaterner
147	4108	40.7602	29.9329	15	-	Ayrılmamış Kuvaterner
148	4110	41.0691	30.1525	13	380	Ayrılmamış Kuvaterner
149	4111	40.6844	29.5888	33	300	Kırıntılılar ve karbonatlar
150	4112	40.7245	29.84	14	352	Ayrılmamış Kuvaterner
151	4113	40.7768	29.7335	15	300	Ayrılmamış Kuvaterner
152	4114	40.86897	29.40776	10	344	Granitoyidler
153	4115	40.74328	29.78015	18	253	Ayrılmamış Kuvaterner
154	4116	40.71956	29.86583	21	181	Ayrılmamış Kuvaterner
155	4117	40.6989	30.0267	21	282	Ayrılmamış karasal kırıntılılar
156	4118	40.72163	30.07805	29	190	Karasal kırıntılılar
157	4119	40.77286	29.52061	9	884	Kırıntılılar ve karbonatlar
158	4120	40.76761	30.02737	14	214	Ayrılmamış Kuvaterner
159	4121	40.72277	29.96985	25	286	Karasal kırıntılılar
160	4122	40.74829	30.02633	15	303	Ayrılmamış karasal kırıntılılar
161	4123	40.71515	29.84794	10	279	Ayrılmamış Kuvaterner
162	4124	40.7831	29.6063	5	906	Kırıntılılar ve karbonatlar
163	4125	40.7665	29.91721	9	826	Karasal kırıntılılar
164	4126	40.76252	29.91485	14	188	Ayrılmamış Kuvaterner
165	4127	40.76087	29.90473	5	215	Ayrılmamış Kuvaterner
166	4128	40.7249	30.02435	9	258	Ayrılmamış Kuvaterner
167	4129	40.71745	30.11217	3	203	Ayrılmamış Kuvaterner
168	4130	40.75446	29.38787	9	484	Ayrılmamış Kuvaterner
169	4131	40.82054	29.92186	2	445	Karasal kırıntılılar
170	4132	40.83046	29.3813	5	-	Kırıntılılar ve karbonatlar
171	4134	41.17205	30.23152	1	-	Ayrılmamış Kuvaterner
172	4135	40.71223	29.91665	1	-	Ayrılmamış Kuvaterner
173	4136	41.03719	29.95696	3	-	Kırıntılılar ve karbonatlar
174	4137	40.7746	29.81164	2	-	Alüvyon Yelpazesi, yamaç molozu, moren
175	4138	40.78877	29.39196	4	-	Karasal kırıntılılar
176	4139	40.69821	29.81932	2	-	Karasal kırıntılılar

Tablo 2.2. (Devam) Çalışmada kullanılan istasyonlarının kodları ve koordinatları, deprem sayıları (N), istasyonların bulunduğu zemine ait kesme dalgası hızı ve litoloji bilgileri

177	4140	40.60561	29.56396	3	-	Ayrılmamış Kuvaterner
178	4141	40.77089	29.97164	6	-	Ayrılmamış Kuvaterner
179	4142	40.76225	29.85205	3	-	Ayrılmamış Kuvaterner
180	5401	40.73619	30.3808	164	412	Kırıntılılar ve karbonatlar
181	5402	40.6703	30.6225	25	272	Ayrılmamış Kuvaterner
182	5403	40.69078	30.26995	16	215	Ayrılmamış Kuvaterner
183	5404	40.51912	30.29315	19	381	Alüvyon Yelpazesi, yamaç molozu, moren
184	5405	40.79609	30.7352	17	401	Ayrılmamış Kuvaterner
185	5406	40.6703	30.6225	9	272	Ayrılmamış Kuvaterner
186	5407	40.70285	30.35803	12	-	Alüvyon Yelpazesi, yamaç molozu, moren
187	5408	40.45431	30.04865	10	-	Ayrılmamış Kuvaterner
188	5409	40.50593	30.15607	12	-	Ayrılmamış Kuvaterner
189	5410	40.85594	30.30538	1	-	Kırıntılılar ve karbonatlar
190	5901	40.9582	27.4966	1	472	Kırıntılılar
191	5902	40.97928	27.51504	25	409	Kırıntılılar
192	5903	40.97297	27.95033	1	325	Kırıntılılar
193	5904	40.61485	27.12256	47	225	Ayrılmamış Kuvaterner
194	5905	40.98205	27.54794	4	-	Kırıntılılar
195	5906	40.97338	27.93164	78	224	Kırıntılılar
196	5907	41.16072	27.79184	25	313	Karasal kırıntılılar
197	5908	40.98205	27.54794	45	538	Kırıntılılar
198	5909	41.2898	27.98308	6	361	Karasal kırıntılılar
199	5910	40.98109	27.48608	46	514	Ayrılmamış Kuvaterner
200	5911	41.17413	27.49156	11	-	Karasal kırıntılılar
201	5912	41.22243	27.11453	2	-	Ayrılmamış Kuvaterner
202	5913	40.88824	26.89229	11	-	Kırıntılılar
203	5914	40.66825	27.24526	16	-	Ayrılmamış Kuvaterner
204	5915	40.87996	27.45922	11	-	Ayrılmamış Kuvaterner
205	7701	40.56416	29.30603	5	375	Karasal kırıntılılar
206	7702	40.58997	29.2668	6	359	Karasal kırıntılılar
207	7703	40.65056	29.27896	1	278	Karasal kırıntılılar
208	7704	40.65756	29.24725	2	195	Ayrılmamış Kuvaterner
209	7705	40.6587	29.27955	1	261	Ayrılmamış Kuvaterner
210	7706	40.51305	28.82662	48	277	Ayrılmamış Kuvaterner
211	7707	40.6381	29.0788	33	312	Ayrılmamış Kuvaterner
212	7708	40.65756	29.24725	32	196	Ayrılmamış Kuvaterner
213	7709	40.55932	29.32588	53	382	Karasal kırıntılılar
214	7710	40.58997	29.2668	36	358	Karasal kırıntılılar
215	7711	40.65942	29.32709	29	199	Ayrılmamış Kuvaterner
216	7712	40.69286	29.50883	26	280	Ayrılmamış Kuvaterner
217	7713	40.5905	29.2092	18	-	Ayrılmamış volkanitler

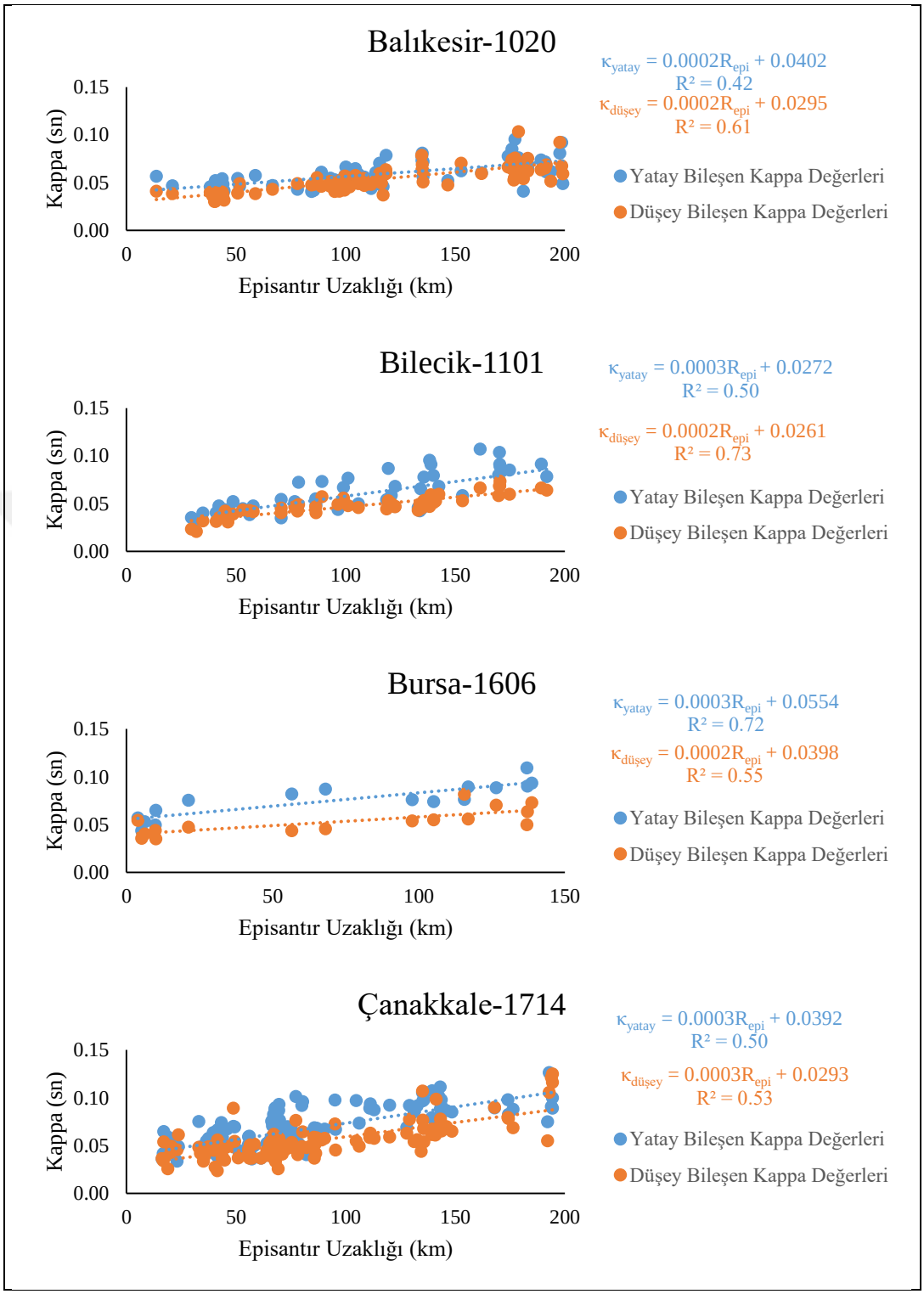
3. BULGULAR

3.1. İstasyon Bazlı κ_0 Belirlemesi

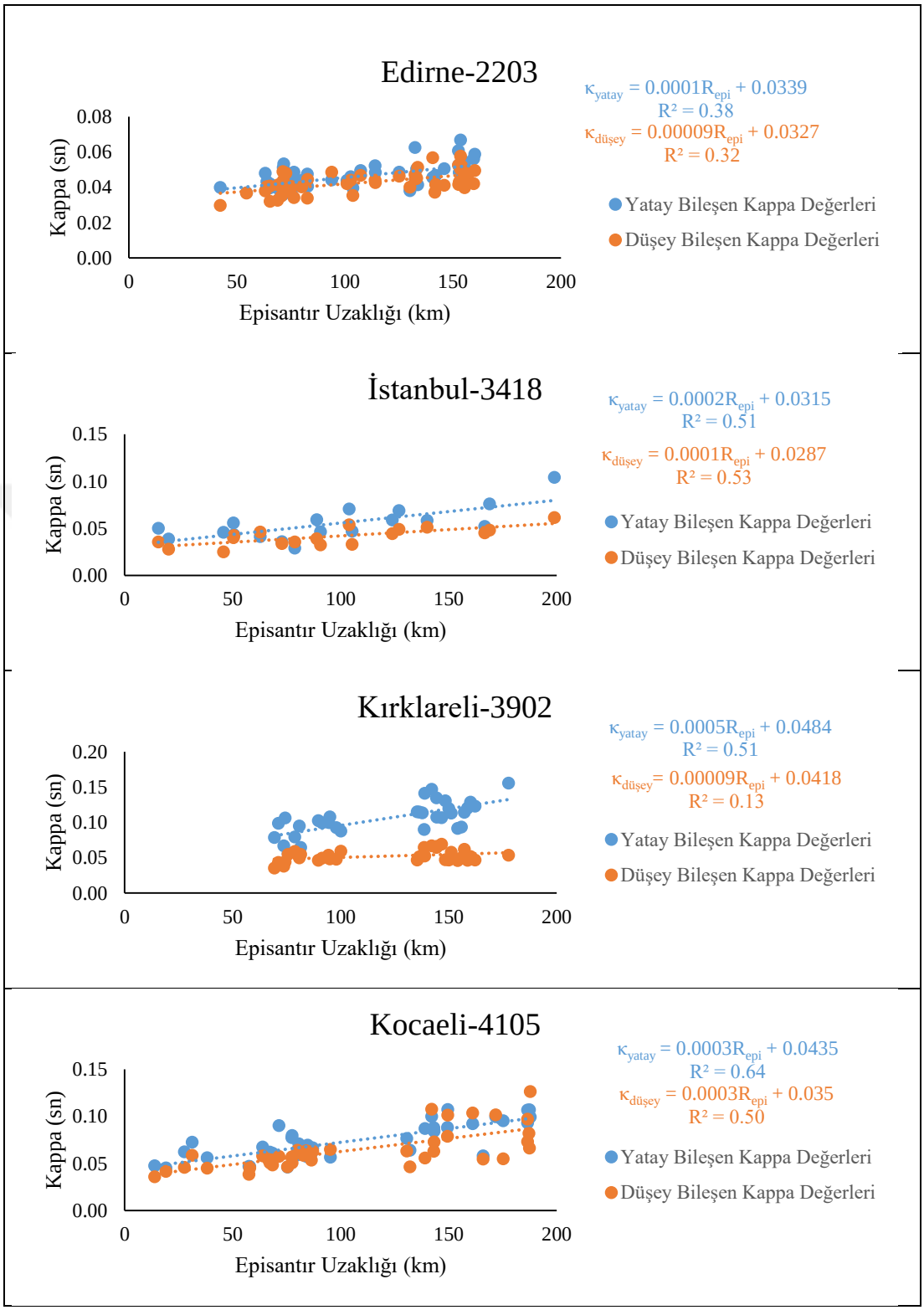
İstasyon zemin özelliklerine bağlı ve her bir alana özgü olan κ_0 değerleri, deprem kayıtlarından hesaplanan kappa değerleri ile uzaklık arasındaki ilişkisinin doğrusal regresyonundan elde edilmektedir. Belirli bir alan için kappa değerlerine karşılık uzaklık değerleri çizdirilerek elde edilen grafiklerden bu iki değer arasındaki ilişkiyi gösteren en küçük kareler yöntemi kullanılarak lineer bir doğru geçirilir. Geçirilen bu doğrunun düşey ekseni (κ değerlerinin olduğu eksen) kestiği değer (R=0) sıfır mesafe kappa değerini (κ_0) verir. Sıfır mesafe kappa, istasyondaki yakın yüzey spektral azalımı işaret eder.

Bu çalışmada AFAD tarafından işletilen Marmara Bölgesi'ndeki 217 kuvvetli yer hareketi istasyonu kullanılmıştır. Bölgede bazı istasyonların yeni kurulmuş olması, bazı istasyonların ise şu an pasif olması gibi sebeplerden dolayı az sayıda deprem kaydettiği görülmüştür. Çalışma kapsamında istasyonlarda en az 4 deprem kaydının olması durumunda istasyona özgü κ_0 belirlemesi koşulu konulduğundan bu bölümde yapılan işlemler Tablo 3.1'de belirtilen 180 istasyon için gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1'de çalışma bölgesinde kullanılan bazı istasyonlara ait kappa parametresi-episantır uzaklığı arasındaki ilişkileri gösteren grafikler görülmektedir.

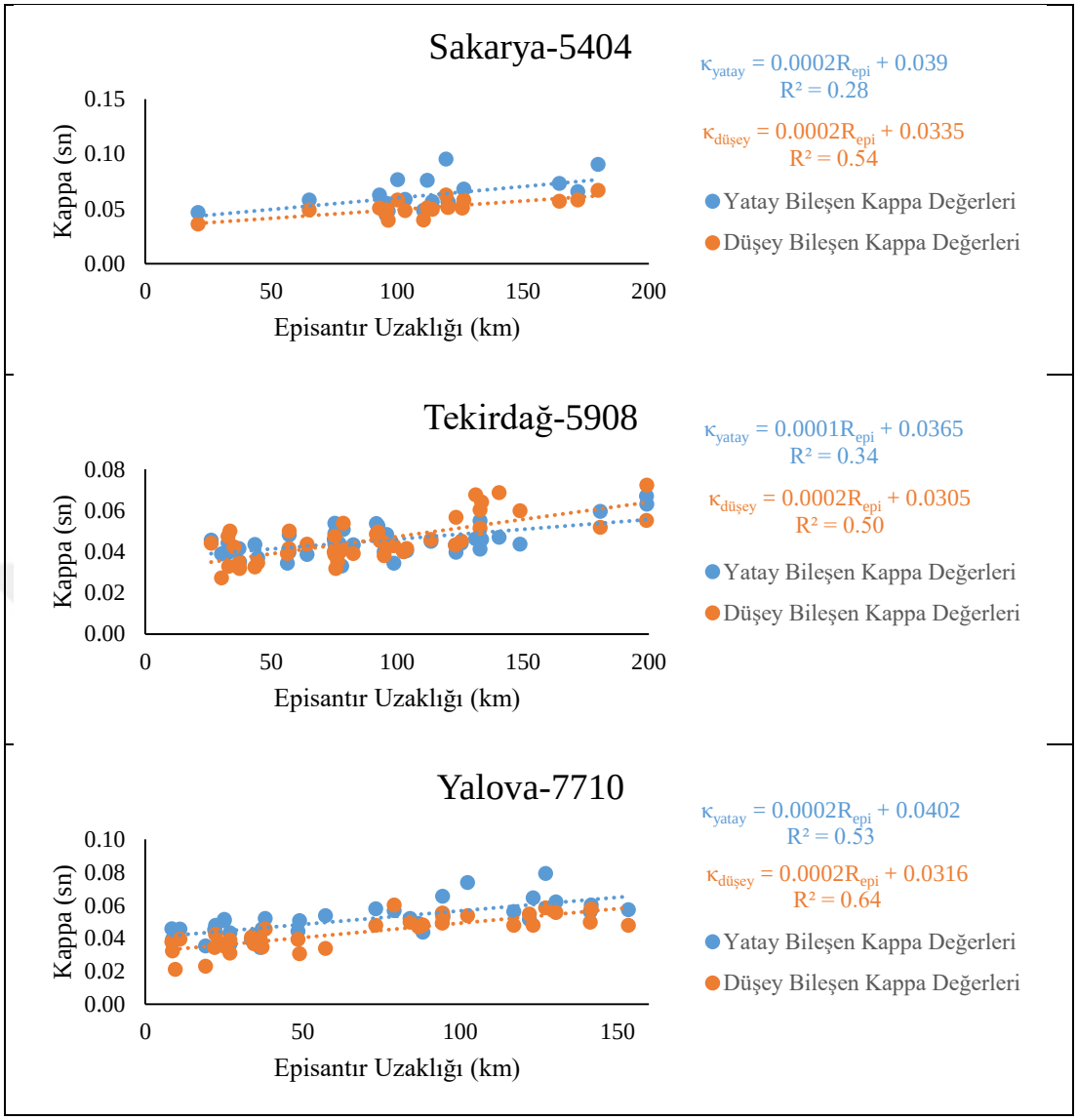
Çalışma alanında kullanılan deprem ivme kayıtlarından elde edilen kappa değerlerinin episantır uzaklığı ile değişimi grafikleri çizilmiş ve her bir istasyon için κ_0 değerleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, farklı zeminlerde kurulu istasyonlardaki zemin özelliklerini yansıtan κ_0 değerlerinin yatay bileşenler için 0,0014-0,0748 sn, düşey bileşen için ise 0,0019-0,0646 sn aralığında değiştiği bulunmuştur (Tablo 3.1.).



Şekil 3.1. Çalışma bölgesinde kullanılan bazı istasyonlar için kappa-episantır uzaklığı grafikleri, istasyon kodları, istasyonlara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)



Şekil 3.1. (Devam) Çalışma bölgesinde kullanılan bazı istasyonlar için kappa-episantır uzaklığı grafikleri, istasyon kodları, istasyonlara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)



Şekil 3.1. (Devam) Çalışma bölgesinde kullanılan bazı istasyonlar için kappa-episantır uzaklığı grafikleri, istasyon kodları, istasyonlara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)

Tablo 3.1. Marmara Bölgesi'ndeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarına ait koordinat bilgileri, istasyon kodları, istasyonlarda kullanılan veri sayıları (N), Vs_{30} – NEHRP zemin sınıfı bilgileri ve elde edilen κ_0 değerleriyle korelasyon katsayıları (R^2)

	İst. Kod	Enlem (°N)	Boylam (°E)	Veri Sayısı (N)	Vs_{30} (m/sn)	NEHRP	$\kappa_{0\ yatay}$ (sn)	R^2	$\kappa_{0\ düşey}$ (sn)	R^2
1	1001	39.65003	27.85686	82	662	C	0.0355	0.75	0.0397	0.48
2	1003	39.65499	27.86204	150	460	C	0.0351	0.61	0.0356	0.64
3	1005	39.31134	26.68601	138	387	C	0.0375	0.40	0.0363	0.27
4	1006	40.33193	27.99662	79	321	D	0.0604	0.05	0.0300	0.27
5	1008	39.39786	28.12733	101	300	D	0.0470	0.50	0.0402	0.18
6	1009	39.57798	28.63232	92	561	C	0.0312	0.30	0.0354	0.25
7	1011	40.33601	27.86104	90	330	D	0.0415	0.24	0.0339	0.34
8	1013	39.58952	27.01924	52	223	D	0.0402	0.24	0.0348	0.19
9	1014	40.11554	27.64188	57	397	C	0.0403	0.43	0.0324	0.30
10	1015	39.23951	28.1714	112	238	D	0.0434	0.53	0.0268	0.41
11	1016	39.38041	27.65438	158	430	C	0.0344	0.50	0.0410	0.37
12	1017	39.64966	27.85715	62	662	C	0.033	0.67	0.0352	0.56

Tablo 3.1. (Devam) Marmara Bölgesi'ndeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarına ait koordinat bilgileri, istasyon kodları, istasyonlarda kullanılan veri sayıları (N), Vs_{30} – NEHRP zemin sınıfı bilgileri ve elde edilen κ_0 değerleriyle korelasyon katsayıları (R^2)

13	1018	40.40929	27.78783	105	555	C	0.0307	0.56	0.0463	0.03
14	1019	39.49795	26.97534	86	444	C	0.0386	0.19	0.0490	0.06
15	1020	39.91714	28.16411	70	293	D	0.0402	0.42	0.0295	0.61
16	1021	39.74736	27.57619	110	-	-	0.0224	0.50	0.0245	0.29
17	1022	39.5817	27.49364	67	-	-	0.0616	0.11	0.0404	0.10
18	1023	39.68246	28.16661	72	-	-	0.0419	0.21	0.0327	0.19
19	1024	40.04748	27.97403	78	-	-	0.0415	0.52	0.0395	0.11
20	1025	39.8745	27.9684	16	-	-	0.0165	0.60	0.0183	0.78
21	1026	39.38445	26.83862	12	-	-	0.0424	0.31	0.0266	0.62
22	1027	39.57383	26.7422	18	-	-	0.0362	0.56	0.0257	0.85
23	1028	39.5855	26.92303	7	-	-	0.0419	0.35	0.0303	0.54
24	1101	40.14106	29.9774	51	901	B	0.0272	0.50	0.0261	0.73
25	1102	39.90433	30.05292	19	402	C	0.0361	0.61	0.0334	0.71
26	1103	40.2822	30.30828	7	-	-	0.0242	0.85	0.0258	0.70
27	1104	40.35737	30.01831	5	-	-	0.0187	0.62	0.0234	0.98
28	1105	40.02311	30.179	7	-	-	0.0398	0.62	0.0059	0.75
29	1106	40.17687	30.52085	10	-	-	0.0389	0.24	0.0364	0.56
30	1601	40.22566	29.07518	11	249	D	0.0747	0.45	0.0646	0.11
31	1603	40.1824	29.1296	5	459	C	0.0452	0.80	0.0350	0.70
32	1604	40.1831	29.1273	15	459	C	0.0612	0.76	0.0312	0.42
33	1605	40.27343	29.09589	6	488	C	0.0609	0.21	0.0388	0.59
34	1606	40.36298	29.12207	16	274	D	0.0554	0.72	0.0398	0.55
35	1607	40.39437	29.09803	22	370	C	0.0730	0.49	0.0350	0.50
36	1608	40.41049	29.17928	9	366	C	0.0473	0.57	0.0235	0.75
37	1609	40.42539	29.16658	26	228	D	0.0511	0.59	0.0380	0.34
38	1610	40.06708	29.50882	16	252	D	0.0657	0.13	0.0417	0.29
39	1611	40.4292	29.7168	12	251	D	0.0325	0.78	0.0329	0.43
40	1613	39.91509	29.23167	89	412	C	0.0386	0.34	0.0303	0.26
41	1614	40.03471	28.39392	35	265	D	0.0606	0.31	0.0303	0.44
42	1615	40.42236	29.2907	9	348	D	0.0459	0.64	0.0364	0.79
43	1616	40.44975	29.25875	4	570	C	0.0594	0.59	0.0340	0.26
44	1617	40.49411	29.2993	4	1602	A	0.0350	0.94	0.0296	0.98
45	1618	40.35095	28.92815	53	314	D	0.0459	0.48	0.0425	0.35
46	1619	40.42236	29.2907	47	348	D	0.0437	0.53	0.0383	0.22
47	1620	40.1824	29.1296	31	459	C	0.0413	0.50	0.0374	0.52
48	1621	40.22686	28.97558	37	396	C	0.0244	0.63	0.0369	0.56
49	1622	40.19595	29.05271	11	448	C	0.0302	0.66	0.0288	0.82
50	1623	40.26537	29.03344	16	377	C	0.0383	0.50	0.0338	0.58
51	1624	40.177	29.0567	20	-	-	0.0165	0.58	0.0298	0.62
52	1625	40.26296	29.09909	4	394	C	0.0469	0.80	0.0298	0.80
53	1626	40.2403	28.98243	19	448	C	0.0281	0.56	0.0331	0.57
54	1627	40.22566	29.07518	10	249	D	0.0539	0.67	0.0446	0.63
55	1628	40.27343	29.09589	37	488	C	0.049	0.47	0.0364	0.31
56	1629	40.42539	29.16658	34	229	D	0.0532	0.53	0.0320	0.44
57	1630	40.36298	29.12207	23	301	D	0.0533	0.80	0.0379	0.44
58	1631	40.4865	29.3081	20	410	C	0.0295	0.58	0.0339	0.55
59	1632	40.41049	29.17928	25	366	C	0.0451	0.55	0.0259	0.51
60	1633	40.2147	28.3632	30	375	C	0.0465	0.25	0.0379	0.34
61	1634	39.77632	28.88207	14	-	-	0.0329	0.46	0.0322	0.60
62	1635	40.44965	29.2587	9	-	-	0.0475	0.62	0.0375	0.43
63	1636	40.21709	29.19462	7	-	-	0.0388	0.46	0.0340	0.66
64	1637	40.47632	29.09463	11	-	-	0.063	0.37	0.0428	0.15
65	1638	40.36115	29.0333	5	-	-	0.0255	0.59	0.0374	0.47
66	1639	40.3776	29.54177	8	-	-	0.0223	0.71	0.0250	0.51
67	1640	39.91117	28.98677	22	-	-	0.0051	0.56	0.0228	0.29
68	1641	40.27685	29.65245	10	-	-	0.0356	0.66	0.0327	0.64
69	1642	40.41049	29.17928	8	366	C	0.0301	0.69	0.0074	0.76
70	1701	40.14145	26.39948	115	192	D	0.0482	0.51	0.0316	0.12
71	1703	40.23182	27.26288	72	304	D	0.0548	0.50	0.0270	0.38
72	1704	39.77388	26.34563	250	403	C	0.0336	0.57	0.0390	0.42
73	1707	39.92916	27.25908	136	324	D	0.0407	0.37	0.0376	0.05
74	1708	39.8419	26.0528	125	1005	B	0.0206	0.50	0.0245	0.47
75	1710	40.42334	26.66715	72	286	D	0.0410	0.62	0.0242	0.20
76	1711	40.19082	25.90783	178	403	C	0.0367	0.37	0.0357	0.15
77	1712	40.40396	27.30349	116	683	C	0.0338	0.47	0.0384	0.34
78	1713	40.16216	26.41166	115	483	C	0.0347	0.60	0.0381	0.34
79	1714	40.11291	26.42205	164	429	C	0.0392	0.50	0.0293	0.53
80	1715	40.36316	26.69225	47	214	D	0.0459	0.51	0.0255	0.37

Tablo 3.1. (Devam) Marmara Bölgesi'ndeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarına ait koordinat bilgileri, istasyon kodları, istasyonlarda kullanılan veri sayıları (N), Vs_{30} – NEHRP zemin sınıfı bilgileri ve elde edilen κ_0 değerleriyle korelasyon katsayıları (R^2)

81	1716	39.59965	26.40761	132	366	C	0.0471	0.63	0.0393	0.23
82	1717	40.1818	26.3578	22	238	D	0.0509	0.19	0.0404	0.23
83	1718	39.81328	26.58622	147	-	-	0.0259	0.59	0.0341	0.50
84	1719	40.02934	27.04996	52	-	-	0.0323	0.54	0.0299	0.32
85	1720	39.52943	26.11962	121	-	-	0.0498	0.51	0.0409	0.27
86	1721	39.54351	26.19045	154	-	-	0.0435	0.70	0.0354	0.64
87	1722	40.19739	25.9034	29	-	-	0.0422	0.14	0.0280	0.17
88	1723	40.0662	26.3872	36	-	-	0.0244	0.73	0.0182	0.65
89	1724	39.51288	26.25777	6	-	-	0.0415	0.40	0.0436	0.79
90	2201	40.72448	26.08731	85	315	D	0.0467	0.46	0.0370	0.31
91	2202	41.67049	26.58585	23	322	D	0.0482	0.14	0.0212	0.28
92	2203	40.8681	26.6319	51	709	C	0.0339	0.38	0.0327	0.32
93	2204	41.2932	26.6899	10	441	C	0.0364	0.18	0.0260	0.32
94	2205	41.83031	26.73635	4	-	-	0.0014	0.14	0.0019	0.43
95	2206	41.55047	26.80923	8	-	-	0.0240	0.18	0.0120	0.32
96	2207	40.90486	26.37401	4	-	-	0.0330	0.96	0.0400	0.69
97	3401	41.0582	29.00951	33	595	C	0.0355	0.52	0.0299	0.32
98	3405	40.91111	29.15668	20	543	C	0.0347	0.63	0.0286	0.29
99	3406	41.02262	29.15884	15	436	C	0.0376	0.55	0.0390	0.25
100	3407	41.0582	29.00951	14	595	C	0.0338	0.22	0.0287	0.39
101	3408	41.07339	28.25569	36	639	C	0.0331	0.52	0.0321	0.13
102	3409	41.02651	28.75884	9	283	D	0.0689	0.15	0.0415	0.65
103	3410	41.17189	29.60816	26	587	C	0.0370	0.71	0.0322	0.20
104	3411	41.01187	28.97605	29	323	D	0.0471	0.66	0.0386	0.22
105	3412	41.02058	28.57821	16	247	D	0.0500	0.04	0.0405	0.17
106	3413	41.09433	28.94818	35	452	C	0.0322	0.43	0.0353	0.31
107	3415	41.02729	28.75848	41	283	D	0.0592	0.26	0.0391	0.46
108	3416	40.97466	28.83635	19	420	C	0.0305	0.64	0.0352	0.44
109	3417	40.95471	29.25627	22	1747	A	0.0285	0.65	0.0306	0.69
110	3418	40.81459	29.27546	18	1182	B	0.0315	0.51	0.0287	0.53
111	3419	41.06099	29.35799	22	-	-	0.0319	0.51	0.0397	0.68
112	3420	41.05891	29.35633	8	-	-	0.0209	0.62	0.0314	0.44
113	3421	40.89022	29.18363	12	-	-	0.0253	0.54	0.0129	0.52
114	3422	40.89022	29.18363	7	-	-	0.0433	0.28	0.0266	0.68
115	3423	40.89022	29.18363	7	-	-	0.0218	0.52	0.0267	0.63
116	3901	41.73774	27.21509	13	500	C	0.0390	0.20	0.0265	0.48
117	3902	41.35705	27.32483	33	317	D	0.0484	0.51	0.0418	0.13
118	3903	41.8815	27.9853	8	515	C	0.0370	0.31	0.0293	0.80
119	3905	41.57237	27.75977	11	-	-	0.0231	0.40	0.0272	0.47
120	4102	40.78463	30.02649	6	1000	B	0.0231	0.66	0.0323	0.84
121	4103	40.78577	30.02504	4	1013	B	0.0414	0.71	0.0239	0.36
122	4104	40.68038	29.96998	24	770	B	0.0303	0.59	0.0367	0.70
123	4105	40.67441	29.96935	41	289	D	0.0435	0.64	0.0350	0.50
124	4106	40.78627	29.45003	17	701	C	0.0323	0.69	0.0303	0.45
125	4107	40.7602	29.9324	20	305	D	0.0243	0.69	0.0327	0.60
126	4108	40.7602	29.9329	15	-	-	0.0550	0.63	0.0405	0.53
127	4110	41.0691	30.1525	13	380	C	0.0302	0.34	0.0376	0.11
128	4111	40.6844	29.5888	33	300	D	0.0499	0.61	0.0342	0.50
129	4112	40.7245	29.84	14	352	D	0.0380	0.89	0.0416	0.43
130	4113	40.7768	29.7335	15	300	D	0.0501	0.28	0.0310	0.51
131	4114	40.86897	29.40776	10	344	D	0.0443	0.52	0.0415	0.33
132	4115	40.74328	29.78015	18	253	D	0.0330	0.59	0.0332	0.31
133	4116	40.71956	29.86583	21	181	D	0.0634	0.58	0.0570	0.32
134	4117	40.6989	30.0267	21	282	D	0.0406	0.51	0.0278	0.46
135	4118	40.72163	30.07805	29	190	D	0.0502	0.55	0.0410	0.45
136	4119	40.77286	29.52061	9	884	B	0.0192	0.76	0.0372	0.73
137	4120	40.76761	30.02737	14	214	D	0.0261	0.64	0.0310	0.55
138	4121	40.72277	29.96985	25	286	D	0.0435	0.59	0.0424	0.32
139	4122	40.74829	30.02633	15	303	D	0.0378	0.59	0.0253	0.31
140	4123	40.71515	29.84794	10	279	D	0.0748	0.27	0.0375	0.40
141	4124	40.7831	29.6063	5	906	B	0.0277	0.75	0.0355	0.80
142	4125	40.7665	29.91721	9	826	B	0.0200	0.92	0.0275	0.79
143	4126	40.76252	29.91485	14	188	D	0.0345	0.81	0.0355	0.42
144	4127	40.76087	29.90473	5	215	D	0.0511	0.80	0.0334	0.61
145	4128	40.7249	30.02435	9	258	D	0.0598	0.47	0.0360	0.16
146	4130	40.75446	29.38787	9	484	C	0.0330	0.11	0.0282	0.81
147	4132	40.83046	29.3813	5	-	-	0.0240	0.44	0.0296	0.57

Tablo 3.1. (Devam) Marmara Bölgesi'ndeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarına ait koordinat bilgileri, istasyon kodları, istasyonlarda kullanılan veri sayıları (N), Vs_{30} – NEHRP zemin sınıfı bilgileri ve elde edilen κ_0 değerleriyle korelasyon katsayıları (R^2)

148	4138	40.78877	29.39196	4	-	-	0.0425	0.01	0.0198	0.69
149	4141	40.77089	29.97164	6	-	-	0.0231	0.77	0.0264	0.98
150	5401	40.73619	30.3808	164	412	C	0.0436	0.40	0.0375	0.22
151	5402	40.6703	30.6225	25	272	D	0.0503	0.19	0.0319	0.36
152	5403	40.69078	30.26995	16	215	D	0.0480	0.33	0.0385	0.30
153	5404	40.51912	30.29315	19	381	C	0.0390	0.28	0.0335	0.54
154	5405	40.79609	30.7352	17	401	C	0.0349	0.19	0.0310	0.51
155	5406	40.6703	30.6225	9	272	D	0.0509	0.48	0.0323	0.45
156	5407	40.70285	30.35803	12	-	-	0.0606	0.02	0.0434	0.39
157	5408	40.45431	30.04865	10	-	-	0.0624	0.28	0.0368	0.49
158	5409	40.50593	30.15607	12	-	-	0.027	0.37	0.0328	0.43
159	5902	40.97928	27.51504	25	409	C	0.0390	0.55	0.0355	0.41
160	5904	40.61485	27.12256	47	225	D	0.0618	0.38	0.0434	0.26
161	5905	40.98205	27.54794	4	-	-	0.0424	0.20	0.0363	0.26
162	5906	40.97338	27.93164	78	224	D	0.0513	0.25	0.0343	0.36
163	5907	41.16072	27.79184	25	313	D	0.0422	0.34	0.0389	0.34
164	5908	40.98205	27.54794	45	538	C	0.0365	0.34	0.0305	0.50
165	5909	41.2898	27.98308	6	361	C	0.0354	0.69	0.0372	0.88
166	5910	40.98109	27.48608	46	514	C	0.0396	0.70	0.0488	0.14
167	5911	41.17413	27.49156	11	-	-	0.0176	0.56	0.0354	0.25
168	5913	40.88824	26.89229	11	-	-	0.0259	0.58	0.0296	0.48
169	5914	40.66825	27.24526	16	-	-	0.0432	0.79	0.0290	0.66
170	5915	40.87996	27.45922	11	-	-	0.0391	0.39	0.0328	0.40
171	7701	40.56416	29.30603	5	375	C	0.0323	0.89	0.0274	0.77
172	7702	40.58997	29.2668	6	359	D	0.0394	0.80	0.0379	0.57
173	7706	40.51305	28.82662	48	277	D	0.0446	0.50	0.0299	0.35
174	7707	40.6381	29.0788	33	312	D	0.0430	0.40	0.0331	0.40
175	7708	40.65756	29.24725	32	196	D	0.0584	0.19	0.0335	0.56
176	7709	40.55932	29.32588	53	382	C	0.0383	0.63	0.0388	0.45
177	7710	40.58997	29.2668	36	358	D	0.0402	0.53	0.0316	0.64
178	7711	40.65942	29.32709	29	199	D	0.0437	0.51	0.0310	0.29
179	7712	40.69286	29.50883	26	280	D	0.0400	0.47	0.0309	0.48
180	7713	40.5905	29.2092	18	-	-	0.0495	0.40	0.0348	0.47

Bu çalışmada 3 ve daha az sayıda deprem kaydeden 37 istasyon bulunmaktadır. Bu istasyonlar, istasyon bazlı κ_0 belirlemesinde kullanılmamıştır. κ_0 belirlemesi için yeteri kadar verisi olmayan bu istasyonlarda kaydedilen veriler için yine de KAPPA_KOU programında kappa değerleri hesaplanmış ve Tablo 3.2'de bu sonuçlar verilmiştir. Yeteri kadar veri kaydetmemiş istasyonlardan Vs_{30} bilgisi bulunanlar için ise kappa değerleri, zemin sınıfına göre κ_0 belirleme işlemlerinde kullanılmıştır.

Tablo 3.2. Veri yetersizliği nedeniyle κ_0 belirlemesi yapılmayan Marmara Bölgesi'ndeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarının kodları, koordinat bilgileri, veri sayısı (N), Vs_{30} bilgileri, hesaplanan kappa değerleri

	İstasyon Kodu	Enlem (°N)	Boylam (°E)	Veri Sayısı(N)	Vs_{30} (m/sn)	Kappa (yatay) (sn)	Kappa (düşey) (sn)
1	1002	39.6392	27.89364	2	429	0.0373-0.0380	0.0339-0.0440
2	1004	39.62192	27.88771	3	311	0.0312-0.0409	0.0318-0.0399
3	1007	40.34135	27.94225	2	417	0.0421-0.0887	0.0324-0.0821
4	1012	40.34648	27.86182	1	520	0.0403	0.0391
5	1602	40.194	29.0509	2	272	0.0377-0.0383	0.0391-0.0474
6	1612	40.44163	29.71688	3	197	0.0343-0.0449	0.0260-0.0528
7	1643	40.15546	29.05457	3	-	0.0514-0.0980	0.0420-0.0517
8	1644	40.17834	29.10741	1	-	0.0810	0.0547
9	1645	40.17828	29.06555	1	-	0.0719	0.0458

Tablo 3.2. (Devam) Veri yetersizliği nedeniyle κ_0 belirlemesi yapılmayan Marmara Bölgesi'ndeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarının kodları, koordinat bilgileri, veri sayısı (N), Vs_{30} bilgileri, hesaplanan kappa değerleri

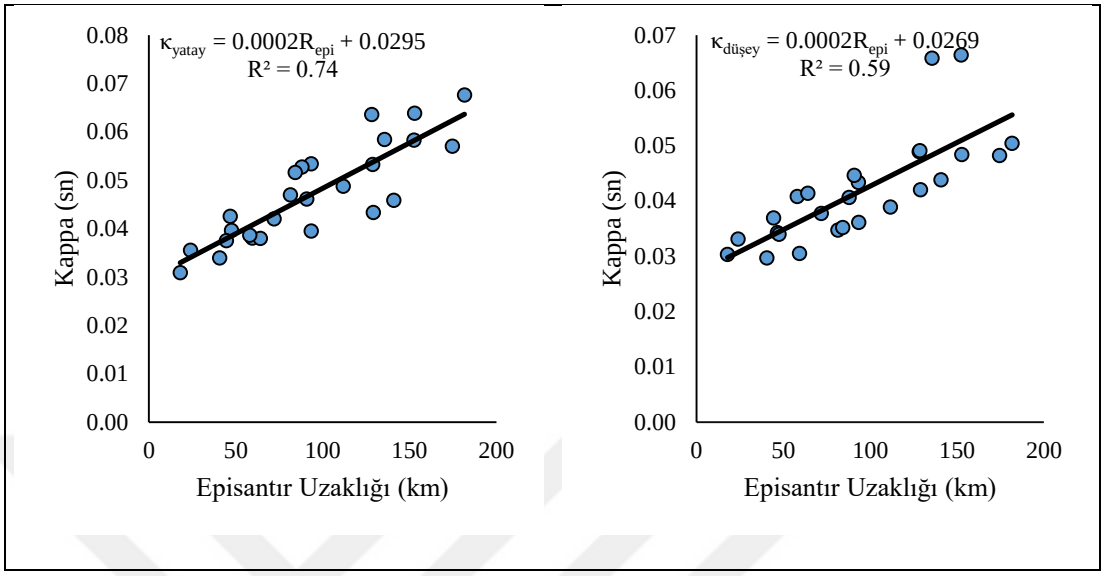
10	1646	40.20908	28.96804	3	-	0.0244-0.0647	0.0287-0.0440
11	1647	40.25146	28.964	2	-	0.0426-0.0671	0.0467-0.0495
12	1648	40.25523	28.98029	2	-	0.0612-0.0753	0.0486-0.0487
13	1649	40.26578	29.09591	2	-	0.0669-0.0811	0.0544-0.0595
14	1650	40.20662	29.05789	2	-	0.0746-0.1002	0.0305-0.0515
15	1651	40.20549	29.0893	2	-	0.0806-0.0895	0.0377-0.0549
16	1652	40.18857	29.13903	2	-	0.0308-0.0895	0.0344-0.0437
17	1702	40.15247	26.41913	3	364	0.0345-0.0781	0.0306-0.0344
18	1706	40.40421	27.30613	1	683	0.0551	0.0450
19	1709	40.19082	25.90783	1	-	0.0448	0.0532
20	3904	41.43276	27.08565	3	-	0.0323-0.0493	0.0465-0.0530
21	4101	40.7665	29.91721	1	826	0.0373	0.0348
22	4129	40.71745	30.11217	3	203	0.0596-0.1043	0.0469-0.0542
23	4131	40.82054	29.92186	2	445	0.0370-0.0398	0.0257-0.0317
24	4134	41.17205	30.23152	1	-	0.0556	0.0317
25	4135	40.71223	29.91665	1	-	0.1142	0.0643
26	4136	41.03719	29.95696	3	-	0.0735-0.0831	0.0339-0.0451
27	4137	40.7746	29.81164	2	-	0.0536-0.0852	0.0375-0.0500
28	4139	40.69821	29.81932	2	-	0.0550-0.0729	0.0373-0.0468
29	4140	40.60561	29.56396	3	-	0.0493-0.0706	0.0204-0.0275
30	4142	40.76225	29.85205	3	-	0.0314-0.0905	0.0424-0.0634
31	5410	40.85594	30.30538	1	-	0.0635	0.0344
32	5901	40.9582	27.4966	1	472	0.0348	0.0303
33	5903	40.97297	27.95033	1	325	0.0721	0.0284
34	5912	41.22243	27.11453	2	-	0.0497-0.1028	0.0518-0.0779
35	7703	40.65056	29.27896	1	278	0.0966	0.048
36	7704	40.65756	29.24725	2	195	0.0448-0.0689	0.0288-0.0371
37	7705	40.6587	29.27955	1	261	0.0421	0.0447

3.2. İstasyon Zemin Türü- Kappa Değişimi

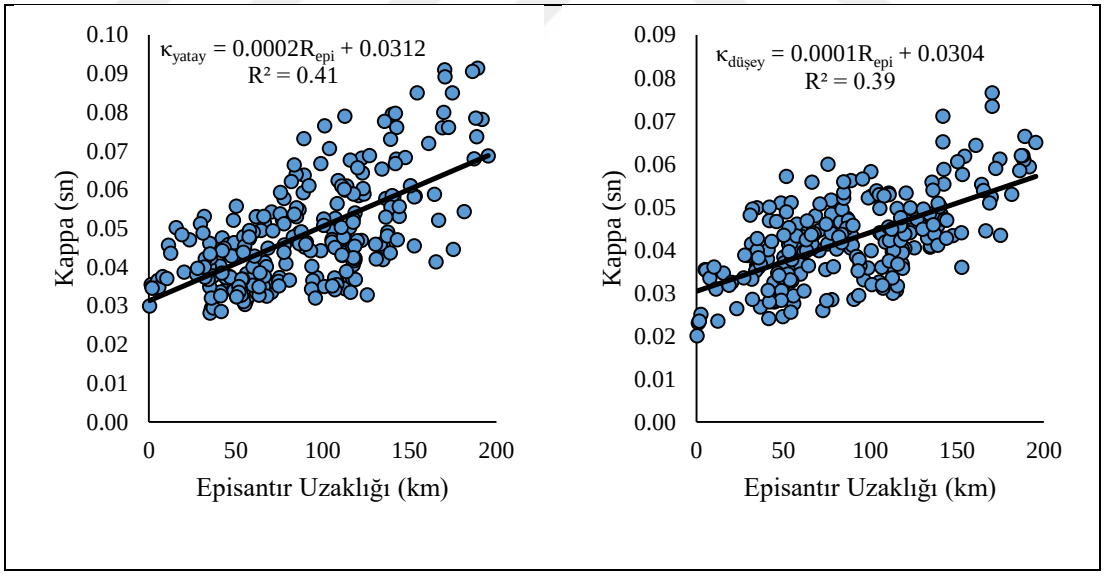
Bu bölümde istasyonların kurulu olduğu zemin sınıfı ile kappa arasındaki ilişki incelenmiştir. κ_0 değerleri, istasyonun bulunduğu zemin özelliğine bağlı olarak farklılık gösterir. Kaya nitelikli alanlarda κ_0, diğer alanlara göre daha düşük değerler alır. Çalışmada, istasyonların konumlandığı alandaki Vs_{30} değerleri, AFAD Deprem Dairesi web sitesinden (http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php) ve UDAP-G-15-04 no'lu proje sonuçlarından alınmıştır. NEHRP zemin sınıflamasına göre Marmara Bölgesi'nde Vs_{30}>1500 m/sn olan A zemin sınıfında 2, 760<Vs_{30}≤1500 m/sn olan B zemin sınıfında 10, 360<Vs_{30}≤760 m/sn olan C zemin sınıfında 65 ve 180≤Vs_{30}≤360 m/sn olan D zemin sınıfında 69 istasyon bulunmaktadır. İstasyonun bulunduğu zemine ait Vs_{30} bilgisi olmayan istasyon sayısı ise 71'dir.

Aynı tür zeminlerde kurulu istasyonların kaydetmiş olduğu kayıtların analizi sonucu elde edilen kappa değerlerinin episantır uzaklığı ile ilişkisini gösteren grafiklerden her bir zemin sınıfı için κ_0 değerleri belirlenmiştir. NEHRP A, B, C ve D zemin sınıflarında kurulu istasyonlarda kaydedilmiş kayıtlardan elde edilen κ_0 değerleri yatay ve düşey bileşenler için sırasıyla 0,0295-0,0269, 0,0312-0,0304, 0,0426-0,0402 ve

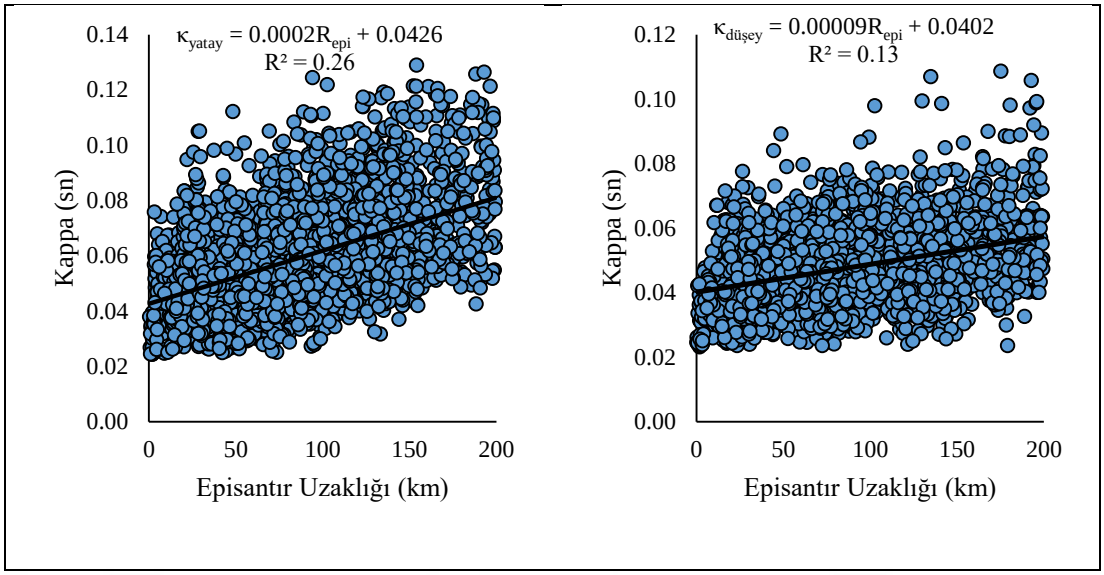
0,0468-0,0407 sn olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.2-3.3-3.4-3.5.). Kappa değerlerinin zemin sınıflarıyla değişim gösterdiği görülmüştür (Tablo 3.3.).



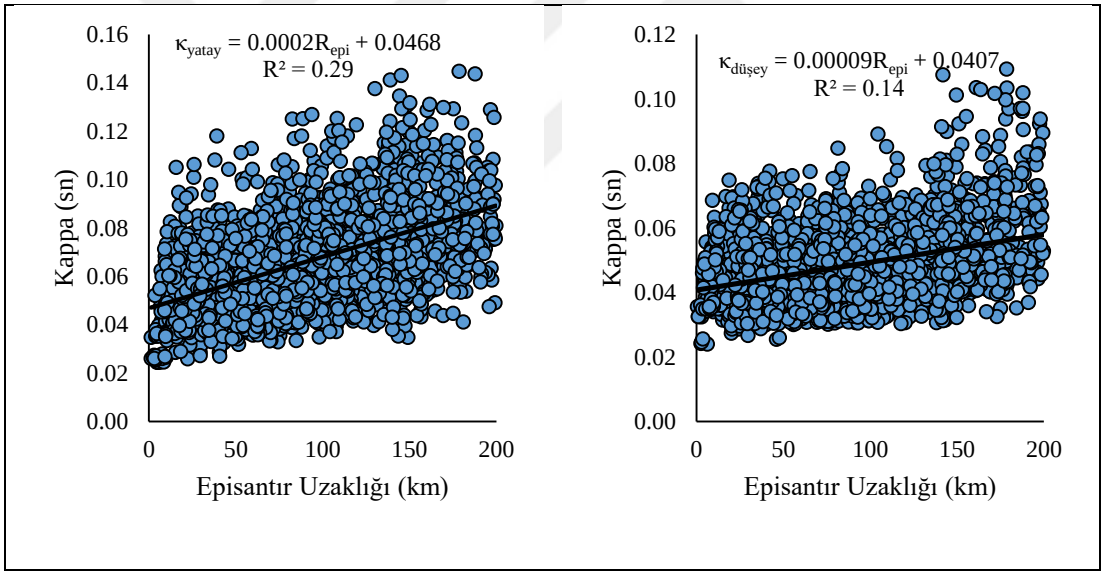
Şekil 3.2. A zemin sınıfında kurulu istasyon kayıtlarından elde edilen kappa-episantır uzaklığı grafikleri, saçılmış veriler arasından geçirilen doğrular, doğrulara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)



Şekil 3.3. B zemin sınıfında kurulu istasyon kayıtlarından elde edilen kappa-episantır uzaklığı grafikleri, saçılmış veriler arasından geçirilen doğrular, doğrulara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)



Şekil 3.4. C zemin sınıfında kurulu istasyon kayıtlarından elde edilen kappa-episantır uzaklığı grafikleri, saçılmış veriler arasından geçirilen doğrular, doğrulara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)



Şekil 3.5. D zemin sınıfında kurulu istasyon kayıtlarından elde edilen kappa-episantır uzaklığı grafikleri, saçılmış veriler arasından geçirilen doğrular, doğrulara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)

Tablo 3.3. Zemin sınıflarına göre hesaplanan kappa değer aralıkları ve κ_0 değerleri

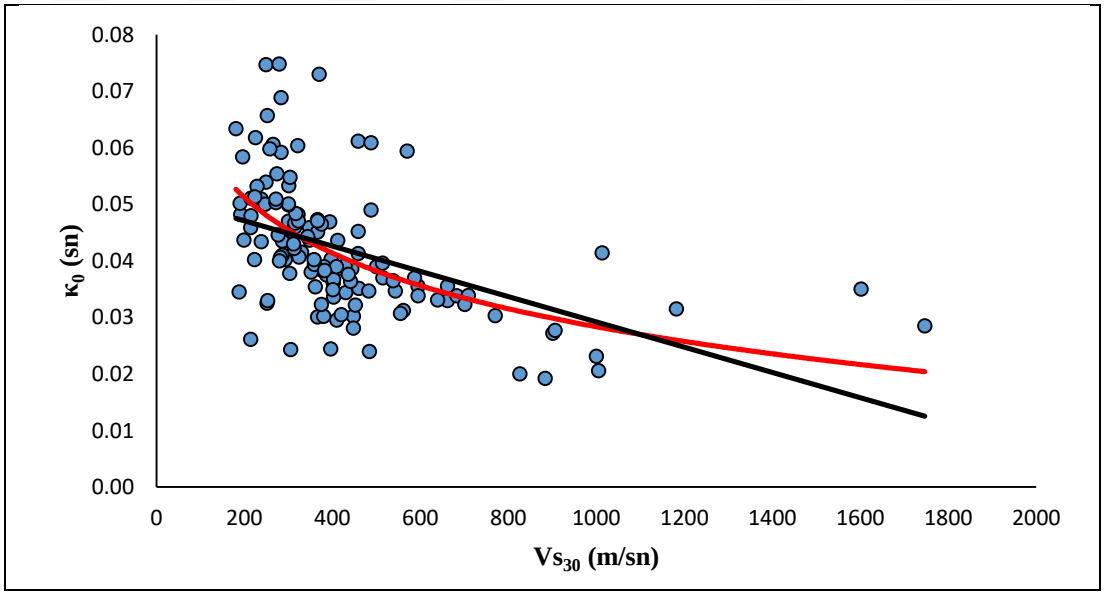
Zemin Sınıfı	$Kappa_{Yatay}$ (sn)	κ_0 (sn)	$Kappa_{Düşey}$ (sn)	κ_0 (sn)
A (Vs_{30}>1500 m/sn)	0,0309-0,0676	0,0295	0,0297-0,0664	0,0269
B (760<Vs_{30}≤1500 m/sn)	0,0281-0,0914	0,0312	0,0200-0,0765	0,0304

Tablo 3.3. (Devam) Zemin sınıflarına göre hesaplanan kappa değer aralıkları ve κ_0 değerleri

C (360<Vs30≤760 m/sn)	0,0244-0,1290	0,0426	0,0232-0,1086	0,0402
D (180≤Vs30≤360 m/sn)	0,0244-0,1448	0,0468	0,0240-0,1093	0,0407

Kappa ile ilgili yapılmış çalışmalarda belirtildiği üzere zemini daha iyi olan alanlarda κ_0 değerlerinin düşük çıktığı sonucu, bu çalışmada da elde edilen κ_0 değerleri ile uyumludur. Elde edilen bulgulardan, zemin sınıfı iyi nitelikli olmayan alanlarda κ_0 değerlerinin daha yüksek çıktığı görülmektedir. Ayrıca episantır uzaklığı ile beraber kappa değerlerinde geniş bir saçılım görülmektedir. Bu geniş saçılıma rağmen κ_0 değerlerinin istasyonun bulunduğu zemin ile ilişkili olduğu yorumu yapılabilir.

Hem analiz için uygun sayıda veriye sahip hem de kayma dalgası hızı belli olan 130 istasyon için, elde edilen yatay bileşen ortalama κ_0 değerleri ile Vs_{30} arasındaki ilişki incelenmiştir (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Kayma dalgası hızı belli olan istasyonlardan elde edilen κ_0 değerleri ile Vs_{30} arasındaki ilişkiyi gösteren grafik

Şekil 3.6.'daki grafikten,

$$\kappa_0 = 0{,}1266-0{,}014\ln(Vs_{30}),\ R^2=0{,}31 \quad (3.1)$$

$\kappa_0 = 0{,}0516\text{-}0{,}00002(Vs_{30})$, $R^2=0{,}24$ (3.2)

olarak bağıntılar elde edilmiştir. Burada Denklem 3.1 kırmızı eğri ile, Denklem 3.2 ise siyah eğri ile temsil edilmektedir.

Vs_{30} bilgisi olmayan istasyonlar için Vs_{30} bilgisine sahip aynı zemin sınıfı özelliklerindeki istasyonlarla korelasyon yapılarak zemin sınıfı hakkında öneride bulunulmuştur (Tablo 3.4.). Bu amaçla her bir istasyona ait uzaklıkla değişen kappa değerleri, Vs_{30} bilgisi belli ve yeterli sayıda veriye sahip istasyonların sonuçları kullanılarak çizilen grafiklerde (Şekil 3.2.-3.3.-3.4.-3.5.) yerine konmuştur. Her bir istasyona ait kappa değerlerinin önceki grafiklerle uyumuna bakılarak olası zemin sınıfları belirlenmiştir (Şekil 3.7.-3.8.-3.9.-3.10.). Kayma dalgası hızı belli olmayan 1021, 1025, 1103, 1104, 1624, 1636, 1638, 1639, 1640, 1718, 1719, 1723, 2205, 2206, 3420, 3421, 3423, 3905, 4132, 5409, 5911 ve 5913 kodlu istasyonlar A zemin sınıfı; 1027, 1105, 1106, 1634, 1641, 2207, 3419, 4141 ve 5915 kodlu istasyonlar B zemin sınıfı; 1023, 1024, 1026, 1028, 1721, 1722, 1724, 3422, 4138, 5905 ve 5914 kodlu istasyonlar C zemin sınıfı; 1022, 1635, 1637, 1720, 4108, 5407, 5408 ve 7713 kodlu istasyonlar D zemin sınıfında kurulu olabileceği kappa değerlerinin dağılımından belirlenmiştir.

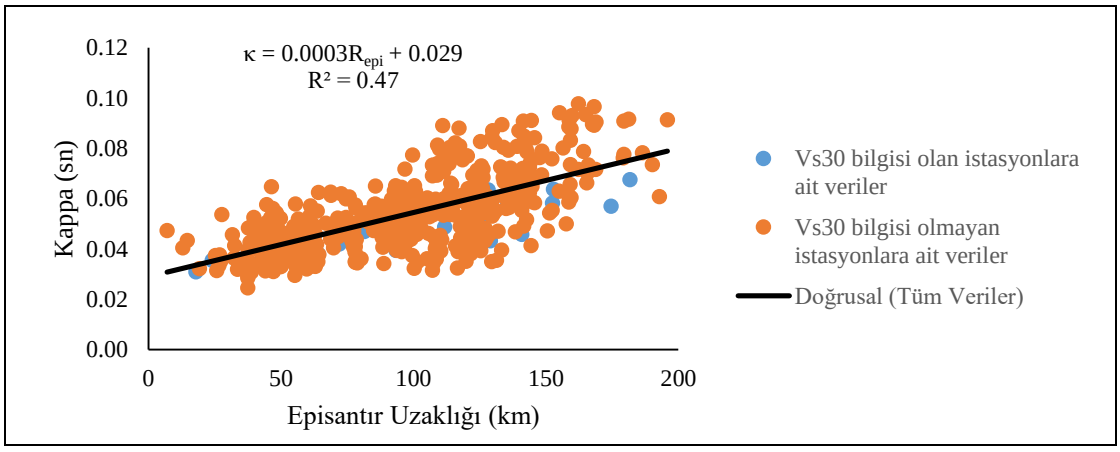
Tablo 3.4. Marmara Bölgesi'nde kayma dalgası hızı belli olmayan kuvvetli yer hareketi istasyonlarının kodları, koordinat bilgileri, veri sayısı (N), istasyonun kurulu olduğu zemine ait litoloji bilgisi ve önerilen zemin sınıfları

	İstasyon Kodu	Enlem (°N)	Boylam(°E)	Kullanılan Veri Sayısı (N)	Önerilen Zemin Sınıfı	Litoloji
1	1021	39.74736	27.57619	110	A	Ayrılmamış volkanitler
2	1022	39.5817	27.49364	67	D	Karasal kırıntılılar
3	1023	39.68246	28.16661	72	C	Karasal kırıntılılar
4	1024	40.04748	27.97403	78	C	Karasal kırıntılılar
5	1025	39.8745	27.9684	16	A	Andezit
6	1026	39.38445	26.83862	12	C	Ayrılmamış Kuvaterner
7	1027	39.57383	26.7422	18	B	Granitoyidler
8	1028	39.5855	26.92303	7	C	Ayrılmamış Kuvaterner
9	1103	40.2822	30.30828	7	A	Ayrılmamış Kuvaterner
10	1104	40.35737	30.01831	5	A	Ayrılmamış Kuvaterner
11	1105	40.02311	30.179	7	B	Evaporitli sedimenter kayalar
12	1106	40.17687	30.52085	10	B	Ayrılmamış Kuvaterner
13	1624	40.177	29.0567	20	A	Gnays
14	1634	39.77632	28.88207	14	B	Granitoyidler
15	1635	40.44965	29.2587	9	D	Mermer
16	1636	40.21709	29.19462	7	A	Ayrılmamış Kuvaterner
17	1637	40.47632	29.09463	11	D	Ayrılmamış Kuvaterner
18	1638	40.36115	29.0333	5	A	Kırıntılılar
19	1639	40.3776	29.54177	8	A	Kırıntılılar ve karbonatlar
20	1640	39.91117	28.98677	22	A	Karasal kırıntılılar
21	1641	40.27685	29.65245	10	B	Ayrılmamış Kuvaterner
22	1718	39.81328	26.58622	147	A	Karasal kırıntılılar
23	1719	40.02934	27.04996	52	A	Ayrılmamış Kuvaterner

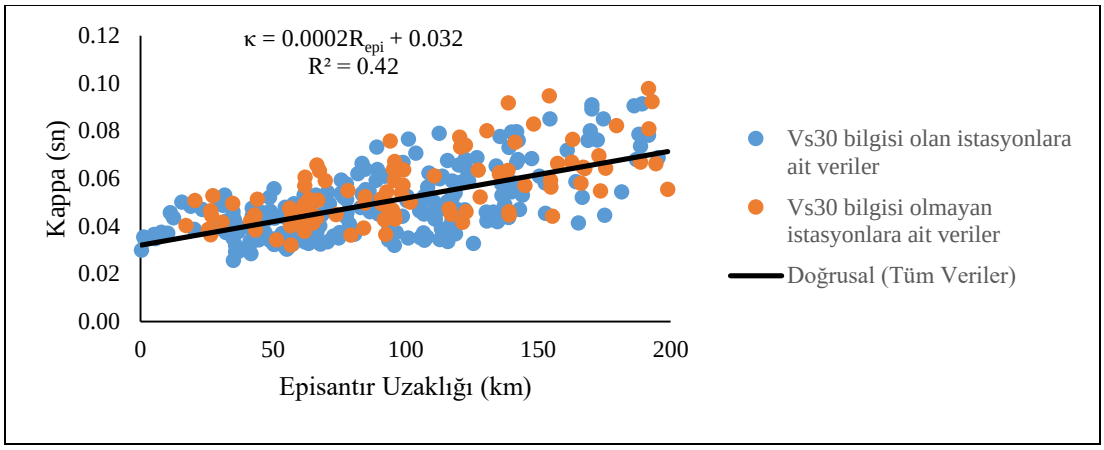
Tablo 3.4. (Devam) Marmara Bölgesi'nde kayma dalgası hızı belli olmayan kuvvetli yer hareketi istasyonlarının kodları, koordinat bilgileri, veri sayısı (N), istasyonun kurulu olduğu zemine ait litoloji bilgisi ve önerilen zemin sınıfları

24	1720	39.52943	26.11962	121	D	Piroklastik
25	1721	39.54351	26.19045	154	C	Piroklastik
26	1722	40.19739	25.9034	29	C	Ayrılmamış Kuvaterner
27	1723	40.0662	26.3872	36	A	Karasal kırıntılılar
28	1724	39.51288	26.25777	6	C	Dasit, riyolit, riyodasit
29	2205	41.83031	26.73635	4	A	Neritik kireçtaşı
30	2206	41.55047	26.80923	8	A	Karasal kırıntılılar
31	2207	40.90486	26.37401	4	B	Ayrılmamış Kuvaterner
32	3419	41.06099	29.35799	22	B	Karbonatlar ve kırıntılılar
33	3420	41.05891	29.35633	8	A	Karbonatlar ve kırıntılılar
34	3421	40.89022	29.18363	12	A	Kırıntılılar
35	3422	40.89022	29.18363	7	C	Kırıntılılar
36	3423	40.89022	29.18363	7	A	Kırıntılılar
37	3905	41.57237	27.75977	11	A	Kırıntılılar
38	4108	40.7602	29.9329	15	D	Ayrılmamış Kuvaterner
39	4132	40.83046	29.3813	5	A	Kırıntılılar ve karbonatlar
40	4138	40.78877	29.39196	4	C	Karasal kırıntılılar
41	4141	40.77089	29.97164	6	B	Ayrılmamış Kuvaterner
42	5407	40.70285	30.35803	12	D	Alüvyon Yelpazesi, yamaç
43	5408	40.45431	30.04865	10	D	Ayrılmamış Kuvaterner
44	5409	40.50593	30.15607	12	A	Ayrılmamış Kuvaterner
45	5905	40.98205	27.54794	4	C	Kırıntılılar
46	5911	41.17413	27.49156	11	A	Karasal kırıntılılar
47	5913	40.88824	26.89229	11	A	Kırıntılılar
48	5914	40.66825	27.24526	16	C	Ayrılmamış Kuvaterner
49	5915	40.87996	27.45922	11	B	Ayrılmamış Kuvaterner
50	7713	40.5905	29.2092	18	D	Ayrılmamış volkanitler

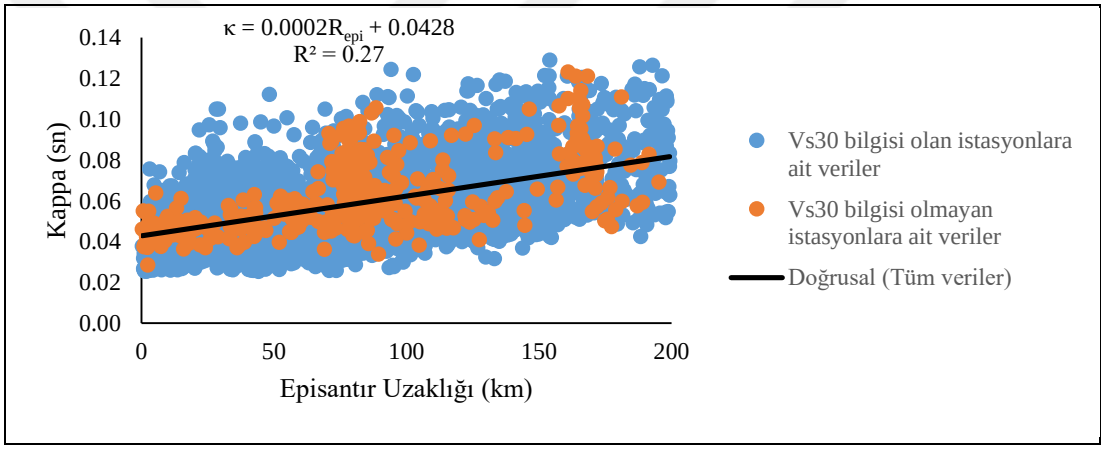
Vs_{30} bilgisi olan istasyonlardan elde edilen kappa değerleri ile episantır uzaklığı ilişkisini gösteren grafikler üzerine zemin bilgisi olmayan yeteri kadar veri kaydetmiş (>4) istasyonlara ait veriler (Tablo 3.4.) bir araya getirilerek kappa–uzaklık değişimi denklemleri yeniden elde edilmiştir (Şekil 3.7., 3.8., 3.9. ve 3.10). Yeni denklemler ve κ_0 değerlerindeki uyum, öngörülen zemin türlerinin doğru olduğuna işaret etmektedir (Tablo 3.5.).



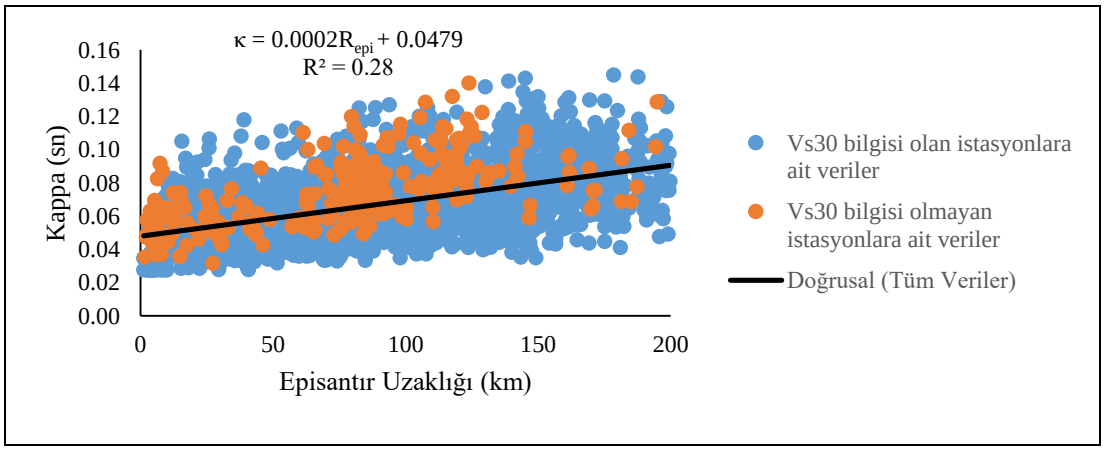
Şekil 3.7. NEHRP A zemin sınıfında Vs_{30} bilgisi belli olan ve olmayan istasyonlardan elde edilen kappa değerlerinin uzaklıkla değişim grafiği ve saçılmış değerler arasından uydurulan doğru ve denklemi



Şekil 3.8. NEHRP B zemin sınıfında Vs_{30} bilgisi belli olan ve olmayan istasyonlardan elde edilen kappa değerlerinin uzaklıkla değişim grafiği ve saçılmış değerler arasından uydurulan doğru ve denklemi



Şekil 3.9. NEHRP C zemin sınıfında Vs_{30} bilgisi belli olan ve olmayan istasyonlardan elde edilen kappa değerlerinin uzaklıkla değişim grafiği ve saçılmış değerler arasından uydurulan doğru ve denklemi

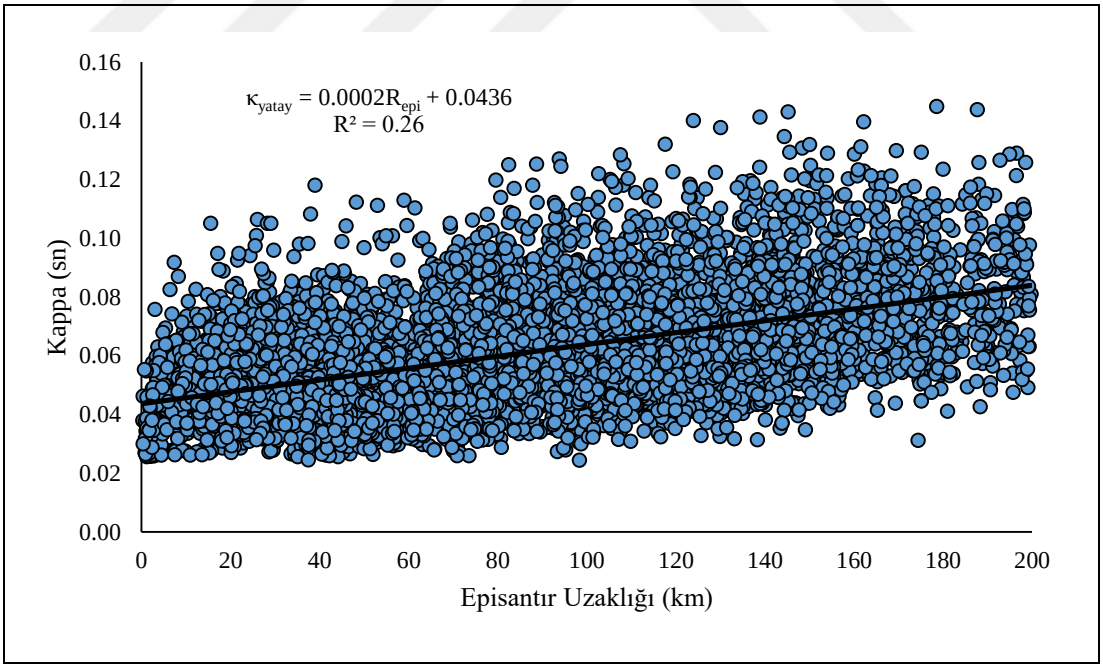


Şekil 3.10. NEHRP D zemin sınıfında Vs_{30} bilgisi belli olan ve olmayan istasyonlardan elde edilen kappa değerlerinin uzaklıkla değişim grafiği ve saçılmış değerler arasından uydurulan doğru ve denklemi

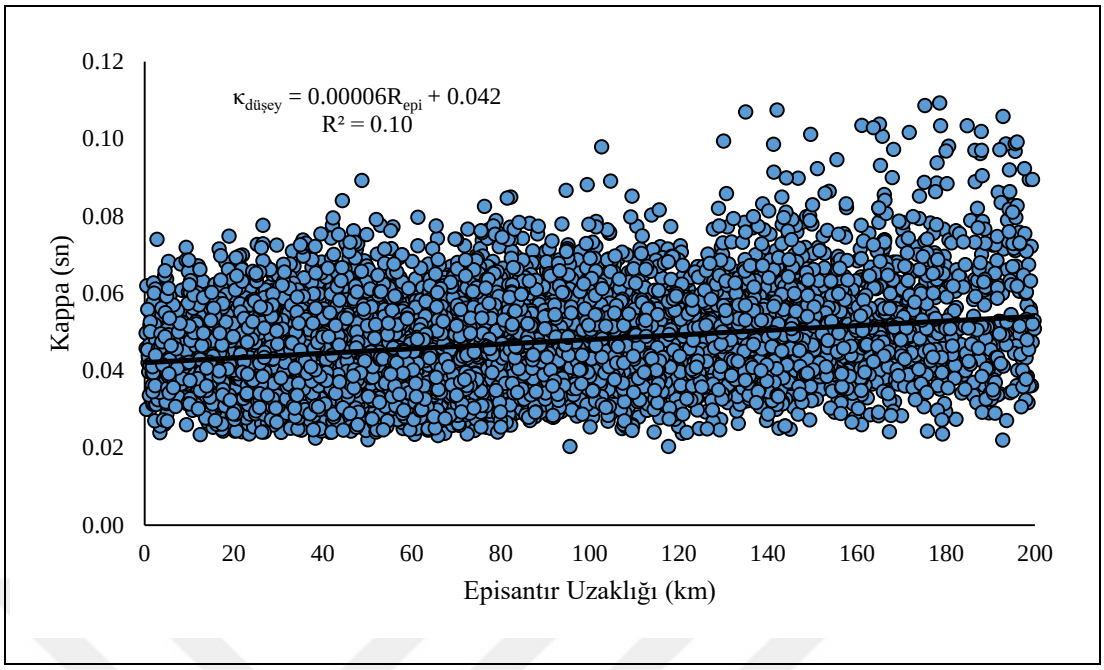
Tablo 3.5. Vs_{30} bilgisi belli olan ve olmayan istasyonlardan elde edilen kappa değerlerinin zemin sınıflarına göre hesaplanan yatay bileşen kappa değer aralıkları

Zemin Sınıfı	Kappa (sn)	κ_0 (sn)
A	0,0245-0,0977	0,0290
B	0,0256-0,0978	0,0320
C	0,0256-0,1290	0,0428
D	0,0275-0,1448	0,0479

Son olarak çalışma bölgesinde elde edilen tüm kappa parametre değerleri ile episantır uzaklığı arasındaki ilişki incelenmiş ve bölge için ortalama κ_0 değerinin yatay bileşen için 0,0436 sn, düşey bileşen için 0,0420 sn olduğu bulunmuştur (Şekil 3.11.-3.12.). Hem yatay bileşenlerden hem de düşey bileşenden elde edilen kappa değerleri ile episantır uzaklığı grafiklerinden κ değerlerinin geniş bir saçılım gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3.11. Marmara Bölgesi için elde edilen yatay bileşen kappa değerlerinin uzaklıkla değişim grafiği ve saçılmış değerler arasından uydurulan doğru ve denklemi

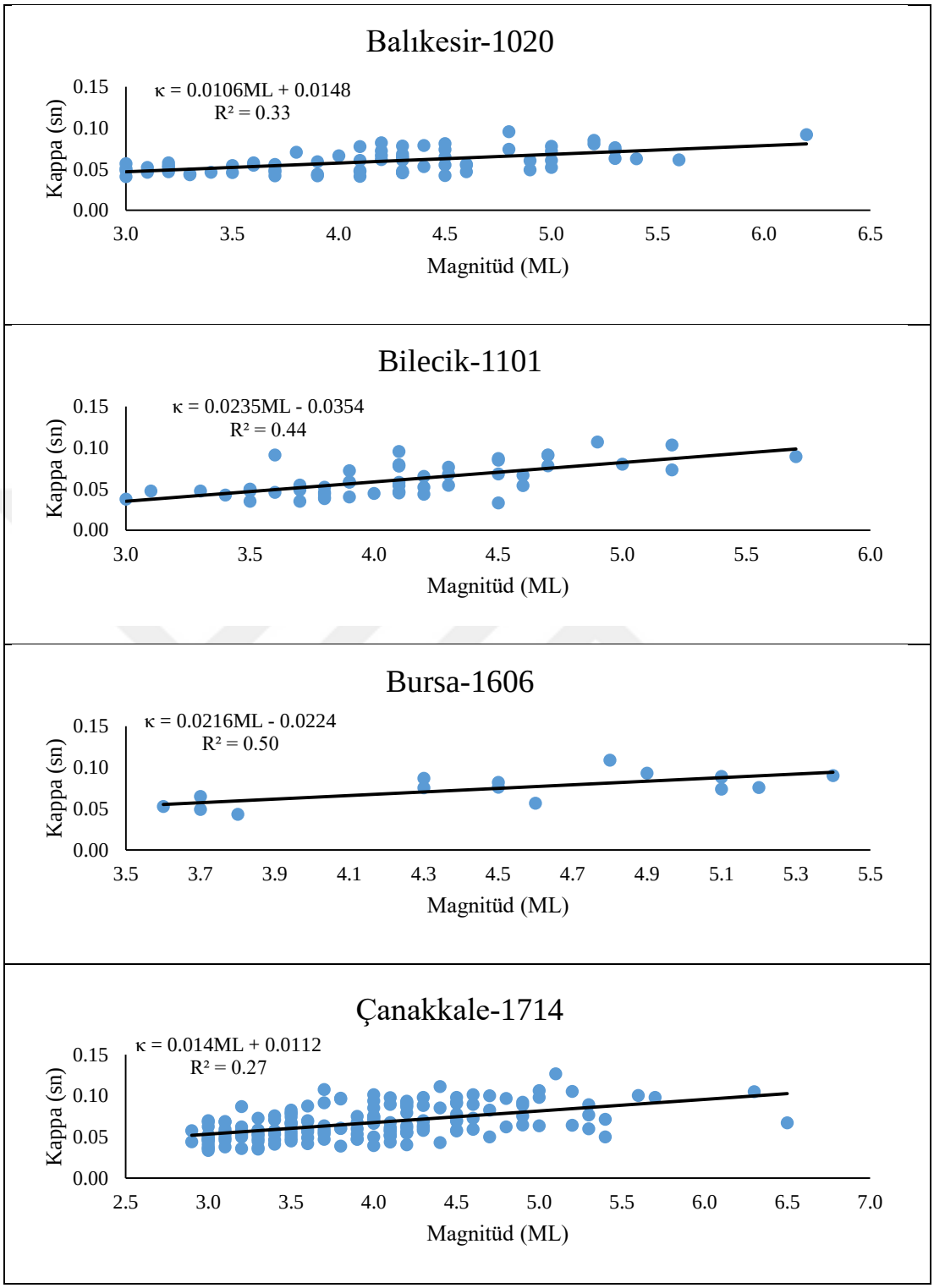


Şekil 3.12. Marmara Bölgesi için elde edilen düşey bileşen kappa değerlerinin uzaklıkla değişim grafiği ve saçılmış değerler arasından uydurulan doğru ve denklemi

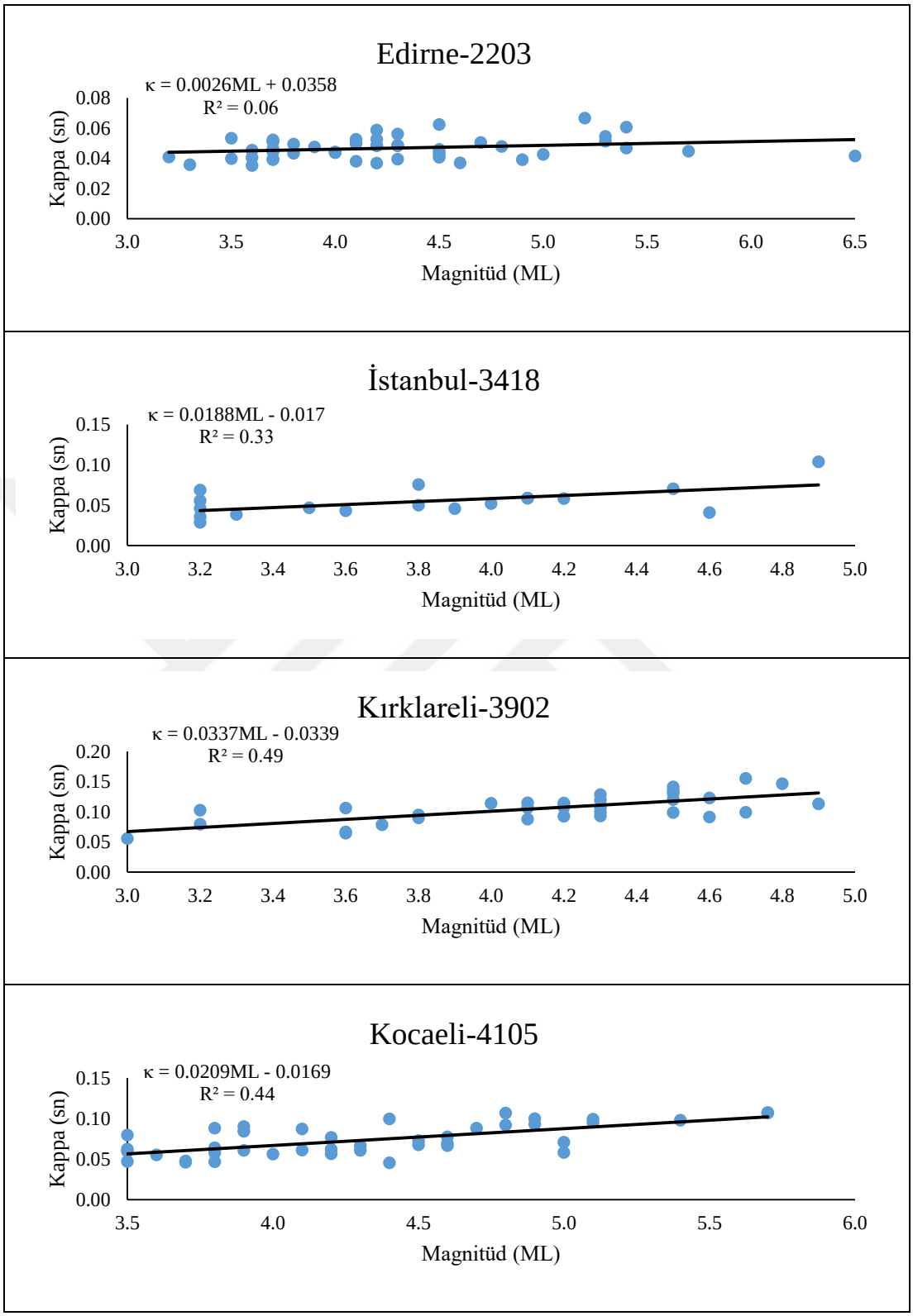
3.3. Kappa-Magnitüd Değişimi

Bu bölümde, bu çalışmada kullanılan ivme kayıtlarından elde edilen kappa değerleri ile deprem magnitüdü arasındaki değişimler incelenmiştir.

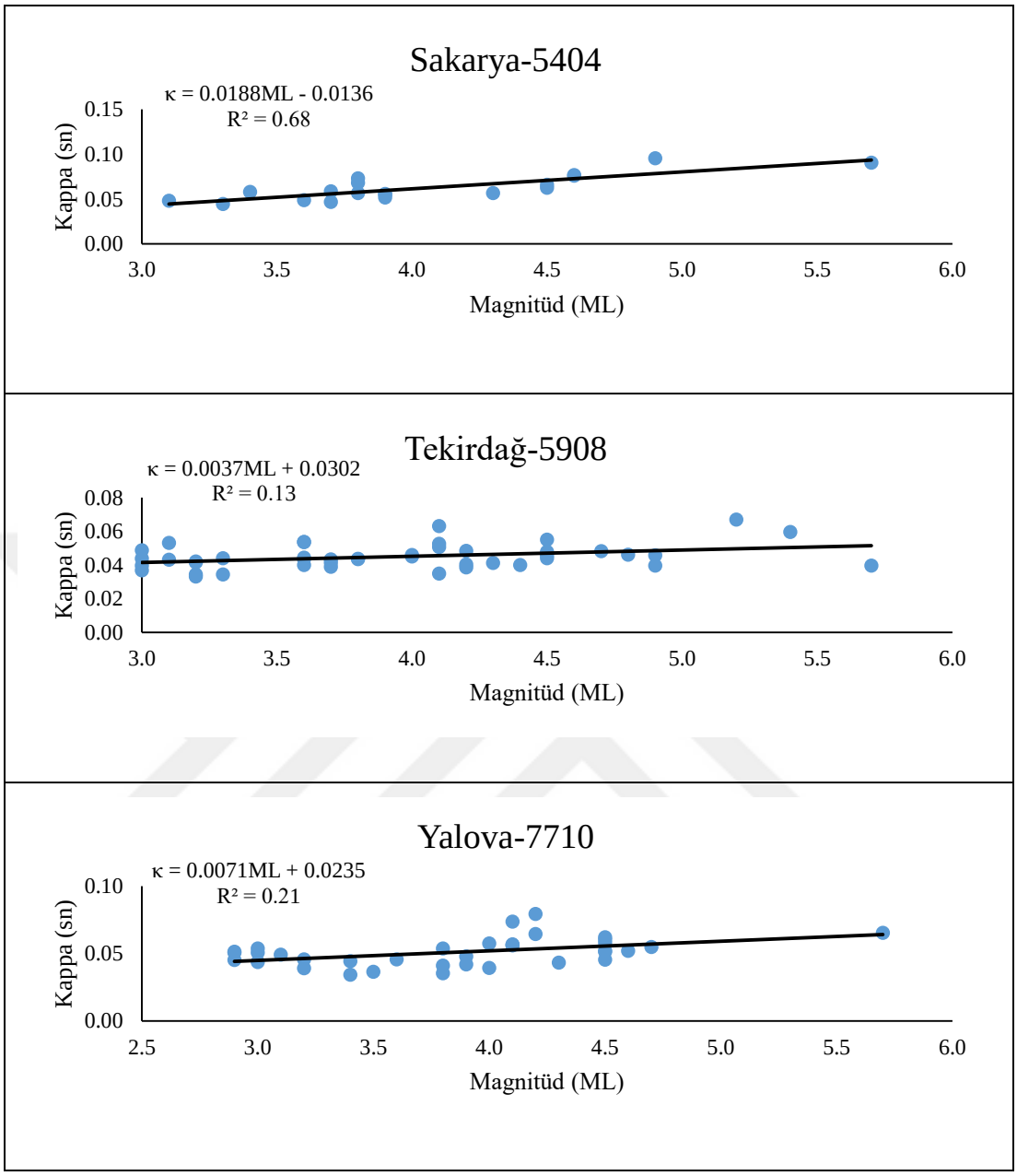
Kappa-magnitüd arasındaki ilişkiyi incelemek için bütün depremlerin aynı tür büyüklük tanımlamasına ihtiyaç duyulmuştur. Süreye bağlı magnitüdteki (Md) depremler için, Kalafat (2016) tarafından önerilen Eşitlik 2.5 kullanılarak lokal magnitüde (ML) dönüştürülmüştür. Moment magnitüdü (M_w) verilen depremlerin de ML değerleri Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/) ile EMSC (https://www.emsc-csem.org/Earthquake/?filter=yes) deprem kataloglarından alınmıştır. Şekil 3.13'te bu çalışmada kullanılan bazı istasyonlara ait kappa parametresi-magnitüd ilişkisini gösteren grafikler görülmektedir.



Şekil 3.13. Çalışma bölgesinde kullanılan bazı istasyonlar için kappa-magnitüd ilişkisi grafikleri, istasyon kodları, istasyonlara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)



Şekil 3.13. (Devam) Çalışma bölgesinde kullanılan bazı istasyonlar için kappa-magnitüd ilişkisi grafikleri, istasyon kodları, istasyonlara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)

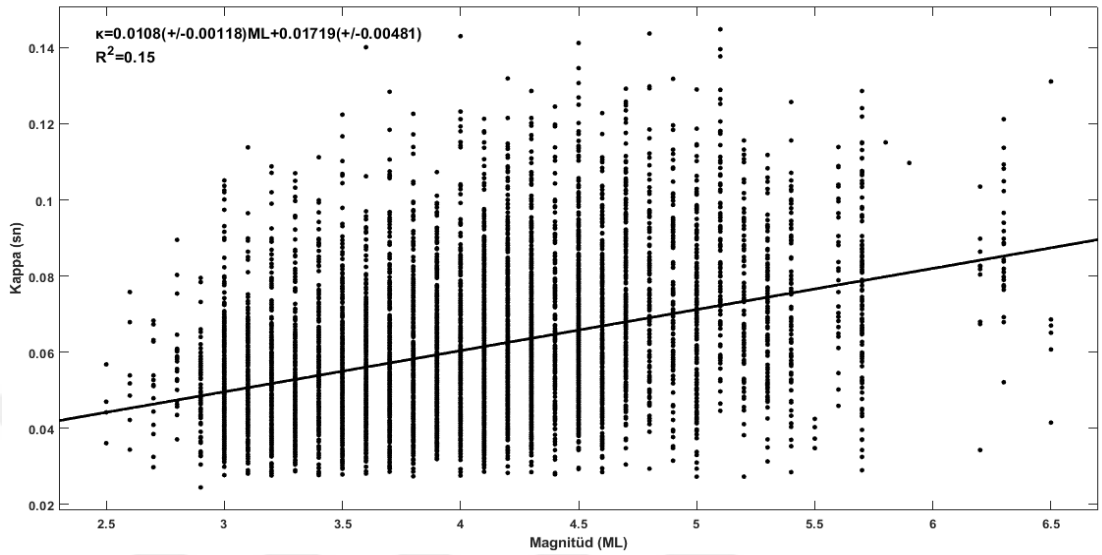


Şekil 3.13. (Devam) Çalışma bölgesinde kullanılan bazı istasyonlar için kappa-magnitüd ilişkisi grafikleri, istasyon kodları, istasyonlara ait denklemler ve korelasyon katsayıları (R^2)

Çalışmada kullanılan tüm depremlerin magnitüdleri ile bu depremlerden elde edilen kappa değerlerinin ilişkisine bakılmıştır. İlk aşamada, deprem büyüklüğü ile o depremin analizden elde edilen kappa değerini kullanarak magnitüd-kappa arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler çizilmiştir. κ-magnitüd ilişkisini gösteren denklem için saçılmış noktalar arasından en küçük kareler yöntemi ile doğru geçirilmiş ve yatay bileşenler kullanılarak denklem,

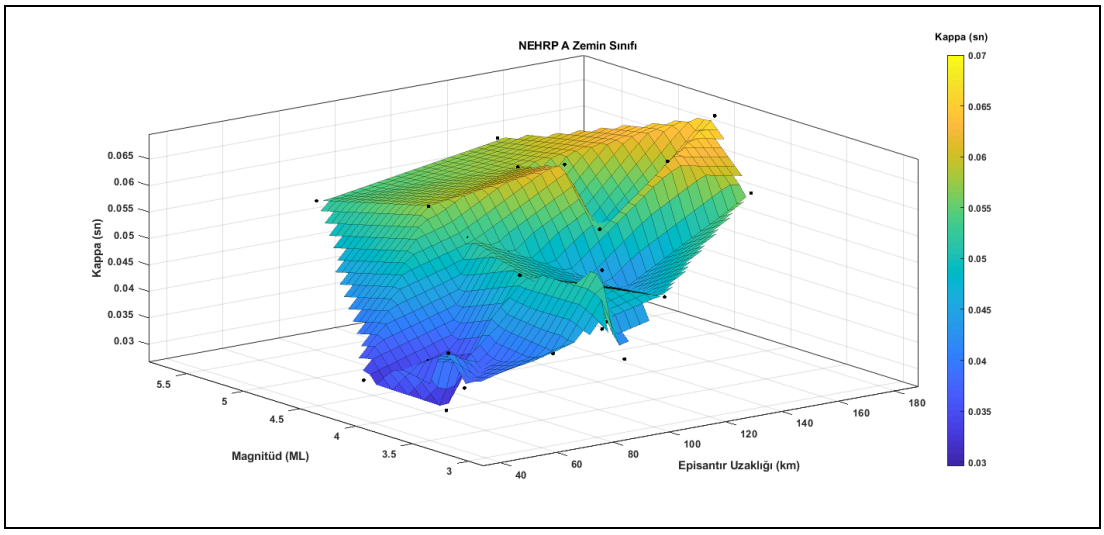
$$\kappa = 0{,}0108(\pm 0{,}00118)ML + 0{,}01719(\pm 0{,}00481) \quad (3.3)$$

olarak elde edilmiştir (Şekil 3.14).



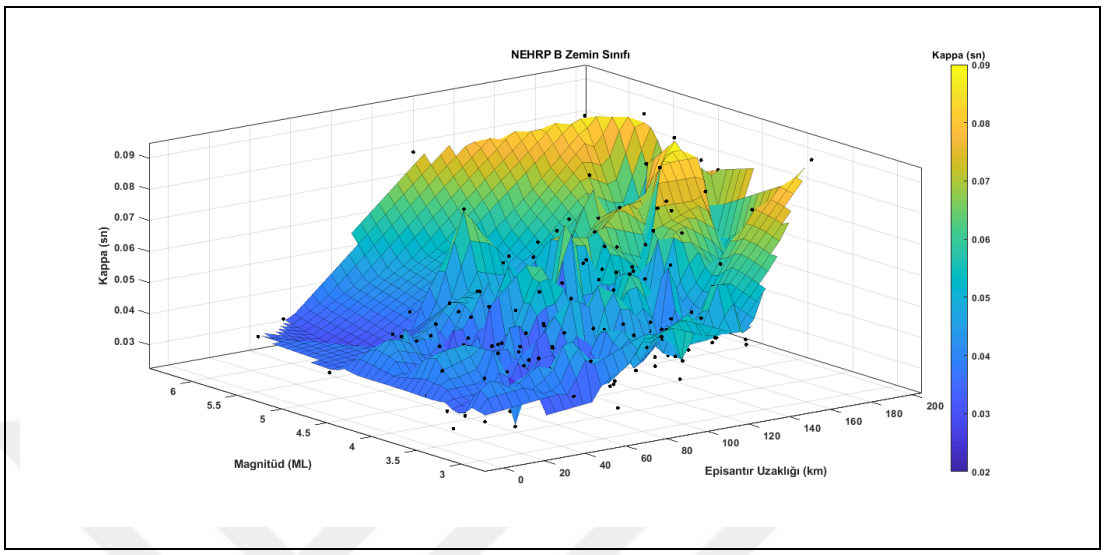
Şekil 3.14. Magnitüd-kappa değişimi, saçılmış noktalar arasından geçirilen doğru ve denklemi

Çalışmada kullanılan tüm depremlerden elde edilen kappa değerlerinin magnitüd ile ilişkisi belirlendikten sonra her bir zemin sınıfı için de ayrıca inceleme yapılmıştır (Şekil 3.15.-3.16.-3.17.-3.18.). Çalışma bölgesinde A zemin sınıfı özellikteki alanlarda istasyon sayısı ve kaydettiği veri sayısı azdır. Buna rağmen Şekil 3.15.'te görüldüğü gibi yine de bir yorum yapılabilmektedir. 80 km'den daha fazla episantır uzaklıklarında ML=4,0 civarında kappa değerlerinde kısmen artış görülmektedir.



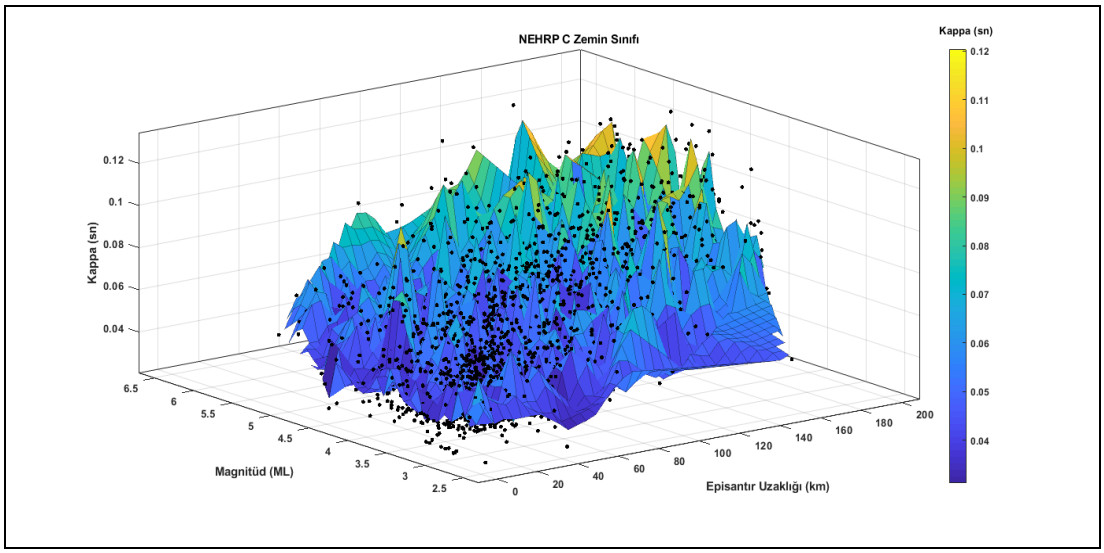
Şekil 3.15. A zemin sınıfı için kappa-magnitüd-episantır uzaklığı değişimi

Çalışma bölgesinde B zemin sınıfı için yaklaşık 90 km ve daha fazla uzaklıklarda, deprem magnitüdü ML ≥ 4,0 için kappa değerlerinde artış görülmektedir (Şekil 3.16.).



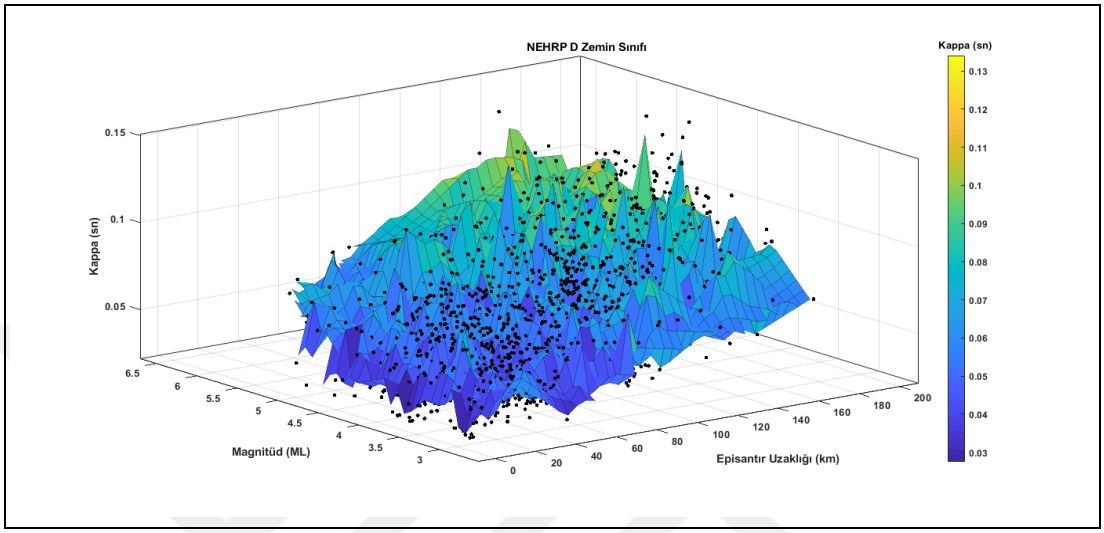
Şekil 3.16. B zemin sınıfı için kappa-magnitüd-episantır uzaklığı değişimi

C zemin sınıfında 120 km'den daha yakın mesafelerde ve ML ≤ 4,0 olan depremlerden hesaplanan kappa değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Yaklaşık 50 km'de ise 5,0-5,5 magnitüd aralığında bir artış olduğu görülmektedir (Şekil 3.17.).



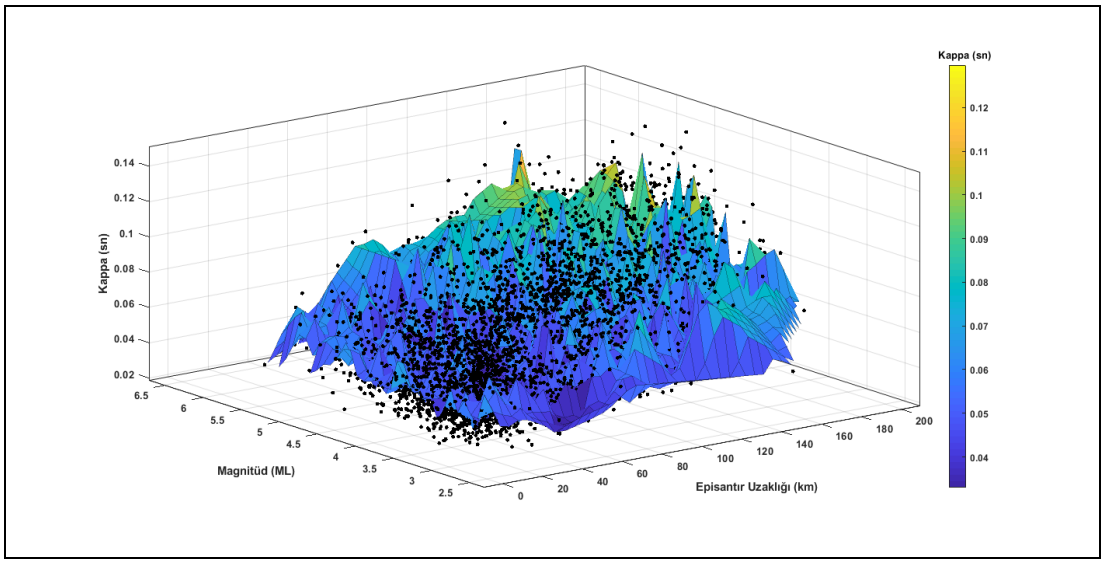
Şekil 3.17. C zemin sınıfı için kappa-magnitüd-episantır uzaklığı değişimi

D zemin sınıfında ise yukarıda belirtilen diğer zemin sınıflarındaki gibi magnitüd, uzaklık ve kappa değerleri arasında değişimin etkili olduğu durumlar net olarak gözlenmemiştir (Şekil 3.18.). Kappa değerlerindeki artışın ML ≥ 5,5, 100 km'den daha fazla episantır uzaklıklarında başladığı görülmektedir.



Şekil 3.18. D zemin sınıfı için kappa-magnitüd-episantır uzaklığı değişimi

Bölge için kullanılan tüm kayıtlardan elde edilen kappa değerlerinin magnitüd ve episantır uzaklığına bağlı değişimi de incelenmiştir (Şekil 3.19). 80 km ve daha fazla uzaklıklarda ML>4,5 için kappa değerlerinin yüksek çıktığı görülmektedir.



Şekil 3.19. Marmara Bölgesi için elde edilen kappa-magnitüd-episantır uzaklığı değişimi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi'nde AFAD Deprem Dairesi tarafından işletilen 217 kuvvetli yer hareketi istasyonunda kaydedilmiş deprem verileri kullanılarak, her bir istasyon zeminine ait yüksek frekans sönüm parametresi (kappa) hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında 1983-2019 yılları arasında meydana gelmiş, büyüklükleri 2,5≤ML≤6,5, episantır uzaklıkları R<200 km, derinlikleri 42 km'den az olan 1473 depreme ait 6837 ivme kaydı, Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri tabanından (TR-KYH) indirilmiştir. Kappa hesaplamaları, Matlab tabanlı KAPPA_KOU adlı program yazılarak Anderson ve Hough (1984)'ın önerdiği Fourier spektrumunda genlik azalımının başladığı ve sona erdiği iki frekans noktası belirlenmesine dayanan yöntem kullanılarak yapılmıştır. Programda analiz edilen ivme kayıtlarına Butterworth filtre (1-30 Hz) ve Hanning penceresi uygulanmıştır. Fourier genlik spektrumunda kappa hesaplaması yapılması için ivme kayıtlarından S dalgası fazının sinyal uzunluğu 5 sn olarak alınmış ve işlemlerde sinyal gürültü oranı 3'ten büyük olan veriler kullanılmıştır. κ_0 belirlemesinde ise bir istasyonda en az 4 deprem kaydı olması koşulu konulmuştur.

Marmara Bölgesi'nde tüm depremlere ait üç bileşen ivme kayıtları kullanılarak yapılan analizde kappa değerleri 0,0200-0,1448 sn arasında hesaplanmıştır. Farklı zeminlerde kurulu istasyonlardaki zemin özelliklerini yansıtan κ_0 değerleri ise yatay bileşenler için 0,0014-0,0748 sn, düşey bileşenler için ise 0,0019-0,0646 sn aralığında değiştiği görülmüştür (Tablo 3.1).

İstasyonlara ait güvenilir κ_0 değeri elde edebilmek için 4 ve daha fazla deprem kaydetmiş olması dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan istasyonlardan 37 istasyon bu koşula uymamaktadır. Bu istasyonlardan Vs_{30} bilgisi olup zemin sınıfı belli olan 16 istasyon için elde edilen kappa değerleri o zemin sınıfına ait grafiklerde kullanılarak κ_0 değeri hesaplamasında kullanılmıştır. Diğer taraftan Vs_{30} bilgisi olmayıp veri sayısı az olan 21 istasyonda ise kaydettiği depremlerin analizi sonucu elde edilen kappa değerleri, sadece bölge geneli için ortalama κ_0 belirlenmesinde hesaba katılmıştır.

Çalışmada istasyon zeminleri Vs_{30} değerine dayalı NEHRP sınıflaması kullanılarak gruplandırılmıştır. Buna göre, Marmara Bölgesi'nde Vs_{30}>1500 m/sn olan A zemin sınıfında 2, 760<Vs_{30}≤1500 m/sn olan B zemin sınıfında 10, 360<Vs_{30}≤760 m/sn olan C zemin sınıfında 65 ve 180≤Vs_{30}≤360 m/sn olan D zemin sınıfında 69 istasyon olduğu tespit edilmiştir. Vs_{30}<180 m/sn olan E zemin sınıfında ise istasyon bulunmamaktadır. Ayrıca Vs_{30} bilgisi olmayan 71 istasyon çalışmada kullanılmıştır.

Zeminlere ait κ_0 değeri elde edilirken analiz edilen deprem sayıları değişiklik göstermiştir. A zemin sınıfında 26, B zemin sınıfında 252, C zemin sınıfında 3003 ve D zemin sınıfında 2236 deprem kaydı çalışmada kullanılmıştır. Analiz sonucu elde edilen kappa değerleri-episantır uzaklıkları değişimlerini gösteren grafikler çizilmiş ve Şekil 3.2.-3.3.-3.4.-3.5.'te gösterilmiştir. A, B, C ve D zemin sınıfları için yatay bileşenlerden elde edilen kappa değerlerinin sırasıyla 0,0309-0,0676, 0,0281-0,0914, 0,0244-0,1290, 0,0244-0,1448 sn aralıklarında değiştiği belirlenirken κ_0 değerleri ise sırasıyla 0,0295, 0,0312, 0,0426 ve 0,0468 sn olarak elde edilmiştir. Düşey bileşenler için ise kappa değerleri sırasıyla 0,0297-0,0664, 0,0200-0,0765, 0,0232-0,1086 ve 0,0240-0,1093 sn aralıklarında değişirken κ_0 değerleri 0,0269, 0,0304, 0,0402 ve 0,0407 sn olarak bulunmuştur (Tablo 3.3.). Hem literatürde yapılmış çalışmalarda, hem de bu çalışmada yatay bileşenlerden elde edilen değerlerin düşey bileşenden elde edilen değerden daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu farklılık, yatay bileşenin S dalgası hızı değişimine bağlı daha fazla duyarlılığa sahip olduğundan kaynaklanmaktadır. Düşey bileşen, yüzeye yakın sediman tabakasının kayma dalgası hızındaki değişime daha az duyarlı olduğundan, bu durum sönümlenmenin düşey bileşende yatay bileşenden daha az olduğunu gösterir.

Çalışmada kullanılan toplam 217 istasyonun 130 tanesinin Vs_{30} bilgisi kullanılarak bu istasyonlardan elde edilen κ_0 değerleri ile Vs_{30} arasında $\kappa_0 = 0{,}1266-0{,}014\ln(Vs_{30})$ (Denklem 3.1) ve $\kappa_0 = 0{,}0516-0{,}00002(Vs_{30})$ (Denklem 3.2) olarak ilişki belirlenmiştir. NEHRP'e göre C ve D zemin sınıflarına denk gelen 181≤Vs_{30}≤500 m/sn hız aralığı için κ_0 değerleri geniş bir saçılım göstermektedir (Şekil 3.6.).

κ_0 hesaplaması için yeterince kappa değeri olup Vs_{30} bilgisi olmayan istasyonlarda, olası zemin sınıfının tanımlaması yapılmıştır. 22 istasyondan elde edilen kappa değerleri, daha önce A zemin sınıfı için hız bilgisi olan verilerden oluşturulan grafiğe

(Şekil 3.2.) konularak hem denklem sisteminde hem de κ_0 değerinde belirgin bir değişikliğe yol açmadığı görülmüştür. Bu istasyonların A zemin sınıfına ait olarak tanımlanabileceği önerisinde bulunulmuştur. Aynı şekilde 9 istasyon B zemin sınıfı; 11 istasyon C zemin sınıfı; 8 istasyon D zemin sınıfı için uyumlu sonuçlar vermiştir. Hız bilgisine sahip olmayan istasyonlardaki verilerin eklenmesiyle A, B, C ve D zemin sınıfları için κ_0 değerleri sırasıyla 0,0290, 0,0320, 0,0428 ve 0,0479 sn olarak elde edilmiştir (Şekil 3.7.-3.8.-3.9.-3.10. ve Tablo 3.5.). Drouet ve diğ. (2010) de Fransa'da Vs_{30} bilgisi olmayan zeminlerde konumlanan istasyonlar için transfer fonksiyonunu kullanarak hız belirlemesi yapmışlardır. Elde ettikleri hız değerlerini 500-1000 m/sn, 1000-2000 m/sn ve >2000 m/sn olarak üç kategoride sınıflandırmışlar ve bu hız değerleri ile jeoloji karşılaştırılarak uyum incelemesi yapmışlardır. Buna göre, bazı istasyonlarda jeoloji-hız arasında uyumsuzluk olduğu bildirilmiştir. Durukal (2002) tarafından yapılmış çalışmada da bazı istasyonlar ile zemin sınıfları arasında benzer bir uyumsuzluk olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada da NEHRP C ve D zemin sınıflarında konumlanan bazı istasyonlarda daha düşük κ_0 değerleri elde edilerek böyle bir uyumsuzluk gözlenmiştir.

Hem bu tez çalışmasında hem de literatürde yapılmış çalışmalar göstermiştir ki kappa parametresi, artan uzaklıklar ile beraber artma eğilimindedir. Bu tez çalışmasında da bu ilişki gözlenmiştir. NEHRP A ve B zemin sınıfları için kappa-uzaklık ilişkisinin C ve D zemin sınıflarına kıyasla daha iyi olduğu bulunmuştur. C ve D zemin sınıflarında ise uzaklık ve kappa değerleri arasında çok büyük saçılımlar olduğu görülmektedir. Marmara Bölgesi için ortalama κ_0 değerleri yatay bileşenlerden 0,0436 sn (κ_R=0,0002 sn/km, R^2 = 0,26), düşey bileşende 0,0420 sn (κ_R=0,00006 sn/km, R^2 = 0,10) bulunmuştur. Akıncı ve diğ. (2006) tarafından 53 istasyonda kaydedilmiş 462 depreme ait 2400 kayıt kullanılarak Marmara Bölgesi için κ_0 değeri 0,055 sn olarak hesaplanmıştır. Değerler arasındaki farklılığın sebebi, hem kullanılan veri seti hem de veri işlem analizinde kullanılan frekans aralığı (0,4-15 Hz) olarak gösterilebilir.

Çalışmada ayrıca kappa parametresinin magnitüd ile ilişkisi de araştırılmıştır. Farklı türde verilen büyüklük değerleri ilk aşamada Kalafat (2016) tarafından önerilen Eşitlik 2.5 kullanılarak lokal magnitüd ML'ye çevrilmiştir. $2,5 \leq ML \leq 6,5$ olarak belirlenen depremlerin magnitüd-kappa değişimi incelenmiştir. Bu değişimi ifade eden denklem yatay bileşenlerden hesaplanan değerler kullanılarak $\kappa = 0,0108ML+0,01719$

(Denklem 3.3) şeklinde elde edilmiştir. Çalışma bölgesinde kullanılan bazı istasyonlara ait kappa parametresi-magnitüd ilişkisini gösteren grafikler Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Buradan kappa'nın magnitüdle bağımlılığının olabileceği görülmektedir. Bölge için kappa değerleri magnitüd ile çok geniş bir saçılım göstermektedir ve κ-ML ilişkisi düşük de olsa bulunmuştur (Şekil 3.14.). Durukal ve Çatalyürekli (2004) tarafından 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinin ML 1,9-6,0 olan artçı şoklarına ait kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılarak yapılmış çalışmada kappa değerlerinin magnitüdle küçük bir eğilimle artmış olduğu gözlenmiştir (κ=0,0038ML+0,0438, R^2=0,05). Bu tez çalışmasında kullanılan ML 2,5-6,5 depremler için ise magnitüde bağımlılığın biraz daha fazla olduğu bulunmuştur (κ=0,0108ML+0,01719, R^2=0,15). Awasthi ve diğ. (2010) tarafından kaya ve gevşek zeminlerde yapılmış çalışmada κ'nın magnitüd ile bağımlılığının çok düşük derecede olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada da elde edilen kappa değerleri ile magnitüdler arasında düşük bir ilişki bulunmuştur. Fernandez ve diğ. (2010) tarafından yapılmış çalışmada, analiz edilen 0,5<Md<3,5 depremler için κ değerlerinin magnitüdten bağımsız olduğu sonucuna varılmıştır. 1,4<Md<2,8 ve R_{epi}<40 km için κ değerlerinin yaklaşık 0,05 sn, 40<R_{epi}<80 km için κ değerinin yaklaşık 0,10 sn olduğu; Md>3,2 için κ değerlerinin 20-40, 40-60 ve 60-80 km aralıklarında sırasıyla 0,15, 0,18 ve 0,12 sn olarak bulunduğu bildirilmiştir. Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlardan episantır uzaklıkları 40 km'den az, magnitüdü 3 ve daha az olan depremler için kappa değerlerinin 0,06 sn'ye kadar çıktığı, 80 km'ye kadar olan uzaklıklarda ise 0,09 sn'ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Magnitüd aralıkları 3,0-3,5 için ise 20-40, 40-60 ve 60-80 km aralıklarında sırasıyla kappa değerlerinin 0,06, 0,07, 0,10 sn'ye kadar arttığı gözlenmiştir. Fernandez ve diğ. (2010) tarafından bulunan magnitüd bağımsız olması sonucuna kıyasla bu çalışmada daha iyi bir uyum görülmüştür. Van Houtte ve diğ. (2011) 4,0 ≤ M_w ≤ 7,3, Gentili ve Franceschina (2011) 3,0 ≤ M_w ≤ 5,7 aralığındaki depremleri kullanarak yaptıkları çalışmada magnitüd ve kappa arasında belirgin bir eğilim olmadığını bildirmişlerdir. Neighbors ve diğ. (2015) tarafından ML≥4,0 olan depremler kullanılarak κ parametresi ile magnitüd arasında ilişki olduğu ve episantır uzaklığına benzer şekilde kappa'nın deprem büyüklüğünden de etkilendiği şeklinde yorum yapılmıştır.

Magnitüd-kappa değişimine uzaklık bilgisini de ekleyerek üç boyutlu grafikler her bir zemin sınıfı için ayrı ayrı çizilerek de incelenmiştir. A zemin sınıfı için episantır uzaklıkları 80 km ve daha fazla uzaklıklarda (Şekil 3.15.), B zemin sınıfı için ise yaklaşık 90 km ve daha büyük uzaklıklarda, ML ≥ 4,0 olduğu durumda kappa değerlerinde artış görülmüştür (Şekil 3.16). C zemin sınıfında 120 km'den daha yakın mesafelerde ve ML ≤ 4,0 olan depremlerden hesaplanan kappa değerlerinin düşük olduğu, yaklaşık 50 km'de ise 5,0-5,5 magnitüd aralığında bir artış olduğu görülmektedir (Şekil 3.17.). D zemin sınıfında ise magnitüd, uzaklık ve kappa değerleri arasında değişimin etkili olduğu durumlar net olarak gözlenmemiştir. Kappa değerlerindeki artışın ML ≥ 5,5, 100 km'den daha fazla episantır uzaklıklarında başladığı görülmektedir. (Şekil 3.18.). Bölge için kullanılan tüm kayıtlardan elde edilen kappa değerlerinin magnitüd ve episantır uzaklığına bağlı değişimi de incelenmiştir (Şekil 3.19). 80 km ve daha fazla uzaklıklarda ML>4,5 için kappa değerlerinin yüksek çıktığı görülmektedir.

Kappa ile ilgili NEHRP A zemin sınıfında yapılmış çalışmalardan Edwards ve diğ. (2011) tarafından κ_0 değerlerinin Vs_{30}=2000 m/sn özellikteki alanlarda 0,0074-0,010 sn aralığında değiştiğini bulmuştur. Ktenidou ve diğ. (2012) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değerinin 2200 m/sn özellikteki zeminlerde 0,02 sn olarak bulunduğu bildirilmiştir. Kumar ve diğ. (2018) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değeri 0,016 sn, Yadav ve diğ. (2018) tarafından yapılmış çalışmada ise κ_0 değeri 0,034 sn bulunmuştur. Chang ve diğ. (2019), κ_0 değerini Vs_{30}>1500 m/sn olan zeminlerde 0,0418 sn olarak bulmuşlardır. Darragh ve diğ. (2019) tarafından yapılmış çalışmada ise κ_0 değeri 0,0051 sn olarak bildirilmiştir. Bu tez çalışmasında NEHRP A zemin sınıfında konumlanan 2 istasyon bulunmaktadır ve bu iki istasyonda kullanılan 26 kayıttan elde edilen κ_0 değerleri 0,0285 ve 0,0350 sn olarak, ortalama κ_0 değeri ise 0,0295 sn olarak hesaplanmıştır. Yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında bu çalışmada elde edilen κ_0 değerinin Edwards ve diğ. (2011), Ktenidou ve diğ. (2012), Kumar ve diğ. (2018), Darragh ve diğ. (2019) tarafından bulunan sonuçlardan yüksek; Yadav ve diğ. (2018) ile Chang ve diğ. (2019) tarafından bulunan sonuçlardan ise düşük çıktığı görülmektedir. Ayrıca Ünal (2015) tarafından Bursa ilinde yapılmış çalışma ile bu tez çalışmasında kullanılan NEHRP A zemin sınıfındaki istasyondan elde edilen değerler karşılaştırıldığında Ünal (2015) tarafından NEHRP A zemin sınıfı

için bulunan κ_0 değeri yatay ve düşey bileşen için sırasıyla 0,0075 ve 0,0184 sn; bu tez çalışmasında ise 0,0350 ve 0,0296 sn olarak hesaplanmıştır.

NEHRP B zemin sınıfı için Margaris ve Boore (1998) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değeri 0,035 sn bulunmuştur. Tsai ve Chen (2000), kappa değerlerinin 0,0356-0,0802 sn aralıklarında değiştiğini bildirmiştir. Awasthi ve diğ. (2010) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değeri 0,0637 sn olarak hesaplanmıştır. Douglas ve diğ. (2010) tarafından yapılmış çalışmada kaya nitelikli zeminlerde bulunan istasyonlardan κ_0 değeri 0,0207 sn; ayrıca üç ayrı bölgede yapılan κ_0 belirlemesinde ise 0,018, 0,024 ve 0,0254 sn değerleri bulunmuştur. Edwards ve diğ. (2011) tarafından κ_0 değerlerinin Vs_{30}=1070 m/sn özellikteki alanlarda 0,013-0,018 sn, Vs_{30}=1500 m/sn özellikteki alanlarda 0,010-0,014 sn aralıklarında değiştiği bulunmuştur. Ktenidou ve diğ. (2012) tarafından κ_0 değeri 0,0235 sn hesaplanmıştır. Van Houtte ve diğ. (2013) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değerlerinin 0,032-0,072 sn aralığında değiştiği bildirilmiştir. Ktenidou ve diğ. (2015), Vs_{30}>800 m/sn özellikteki zeminlerde yaptıkları çalışmada κ_0 değerlerini 0,016-0,024 sn aralıklarında değiştiğini bulmuşlardır. Bora ve diğ. (2017) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değerleri Türkiye'de 0,0495 sn ve İtalya'da 0,0212 sn olarak bulunmuştur. Stanko ve diğ. (2017) tarafından kayma dalgası hızları 800≤Vs_{30}≤1390 m/sn olan zeminlerde kurulu 10 istasyon kullanılarak yapılmış çalışmada κ_0 değerlerinin 0,0160-0,0372 sn aralığında değiştiği bildirilmiştir. Van Houtte ve diğ. (2017) tarafından yapılan κ_0 belirleme çalışmasında, çalıştıkları alanın yerel jeoloji ve tektonik ortama bağlı olarak önemli ölçüde farklı sönüm özelliklerine sahip olduğu ve kaya nitelikli alanlar için κ_0 değerlerinin 0,006 – 0,055 sn arasında değiştiği bildirilmiştir. Chang ve diğ. (2019) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değeri 0,0469 sn olarak bulunmuştur. Darragh ve diğ. (2019) tarafından yapılmış çalışmada ise κ_0 değeri 0,0190 sn olarak bildirilmiştir. Bu tez çalışmasında NEHRP B zemin sınıfında konumlanan 10 istasyon bulunmaktadır ve bu istasyonlardan kullanılan 252 kayıttan elde edilen κ_0 değerleri 0,0192-0,0414 sn aralığında ve ortalama κ_0 değeri ise 0,0312 sn olarak hesaplanmıştır. Yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında bu çalışmada elde edilen κ_0 değerinin Douglas ve diğ. (2010), Edwards ve diğ. (2011), Ktenidou ve diğ. (2012), Darragh ve diğ. (2019) tarafından bulunan sonuçlardan yüksek; Margaris ve Boore (1998), Awasthi ve diğ. (2010), Bora ve diğ. (2017), Chang ve diğ. (2019) tarafından bulunan sonuçlardan ise düşük çıktığı görülmektedir. Tsai ve

Chen (2000) tarafından bildirilen kappa değerleri ile Stanko ve diğ. (2017) ve Van Houtte ve diğ. (2017)'nin elde ettikleri κ_0 değer aralıklarının bu çalışmada bulunan değerlerle uyum gösterdiği, ayrıca bu çalışmada elde edilen κ_0 değer aralıklarının Van Houtte ve diğ. (2013) tarafından bulunan değerlerden düşük, Ktenidou ve diğ. (2015) tarafından bulunan değerlerden ise yüksek çıktığı görülmektedir.

NEHRP C zemin sınıfı için Margaris ve Boore (1998) tarafından yapılmış çalışmada iki istasyon kullanılmış ve κ_0 değerleri 0,047 ile 0,066 sn olarak bulunmuştur. Tsai ve Chen (2000) bir istasyon kullanmış ve kappa değerlerinin 0,0379-0,0873 sn aralıklarında değiştiğini bildirmişlerdir. Durukal ve Çatalyürekli (2004) tarafından 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinin artçı şoklarının yatay bileşenlerine ait kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılarak yapılmış çalışmada 5 istasyondan κ_0'ın 0,041 sn bulunduğu bildirilmiştir. Awasthi ve diğ. (2010), ortalama κ_0 değerini 0,0735 sn olarak bulmuşlardır. Douglas ve diğ. (2010) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değeri 0,0270 sn bulunmuştur. Ayrıca üç ayrı bölge için yapılan κ_0 belirlemesinde ise 0,025, 0,029 ve 0,0347 sn değerlerini elde etmişlerdir. Edwards ve diğ. (2011), κ_0 değerlerini Vs_{30}=525 m/sn özellikteki alanlarda 0,020-0,023 sn, Vs_{30}=760 m/sn özellikteki alanlarda ise 0,016-0,021 sn aralığında hesaplamışlardır. Ktenidou ve diğ. (2012) tarafından κ_0 değeri 0,0508 sn bulunmuştur. Van Houtte ve diğ. (2013) tarafından yapılmış çalışmada κ_0'ın 0,038-0,052 sn aralığında değiştiği bildirilmiştir. Askan ve diğ. (2014) tarafından κ_0 değerleri yatay ve düşey bileşenlerde sırasıyla 0,0377 ve 0,0150 sn olarak hesaplanmıştır. Çalışmalarındaki istasyonlardan 3401 ve 5401 kodlu C zemin sınıfı niteliğindeki istasyonlardan elde edilen κ_0 değerleri yatay bileşenlerde sırasıyla 0,0342, 0,0387; düşey bileşende sırasıyla 0,0133 ve 0,0145 sn olarak bulunmuştur. Bu tez çalışmasında ise Tablo 3.1'den görüleceği gibi sözü edilen istasyonlar için κ_0 değerleri yatay bileşenlerde sırasıyla 0,0355 ve 0,0436; düşey bileşende ise 0,0299 ve 0,0375 sn olarak hesaplanmıştır. Ktenidou ve diğ. (2015) tarafından $360 \leq Vs_{30} < 800$ m/sn özellikteki alanlarda yapılmış çalışmada κ_0 değerlerinin 0,018-0,055 sn aralıklarında değiştiği bildirilmiştir. Bora ve diğ. (2017) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değerleri Türkiye'de 0,0416 sn, İtalya'da ise 0,0224 sn bulunmuştur. Kumar ve diğ. (2018), κ_0 değerini 0,0201 sn olarak hesaplamışlardır. Chang ve diğ. (2019) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değeri 0,0564 sn bulunmuştur. Darragh ve diğ. (2019) tarafından yapılmış çalışmada ise κ_0 değeri 0,0160 sn

bulunmuştur. Bu tez çalışmasında NEHRP C zemin sınıfında konumlanan 65 istasyon bulunmaktadır ve bu istasyonlardan kullanılan 3003 kayıttan elde edilen κ_0 değerleri 0,0240-0,0730 sn aralığında hesaplanmıştır. Ünal (2015) tarafından Bursa ilinde yapılmış çalışma ile bu tez çalışmasında kullanılan NEHRP C zemin sınıfı için ortak 15 istasyon bulunmaktadır. Ünal (2015) tarafından bulunan κ_0 değerleri yatay bileşenler için 0,0125-0,0643 sn, düşey bileşen için 0,0100-0,0569 sn aralığındadır. Bu tez çalışmasında ise κ_0 değerleri yatay bileşenler için 0,0244-0,0730 sn, düşey bileşen için 0,0235-0,0388 sn aralığında ve ortalama κ_0 değeri ise 0,0426 sn olarak hesaplanmıştır. Yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında bu çalışmada elde edilen κ_0 değerinin Durukal ve Çatalyürekli (2004), Douglas ve diğ. (2010), Edwards ve diğ. (2011), Askan ve diğ. (2014), Kumar ve diğ. (2018), Darragh ve diğ. (2019) tarafından bulunan sonuçlardan yüksek; Awasthi ve diğ. (2010), Ktenidou ve diğ. (2012), Bora ve diğ. (2017), Chang ve diğ. (2019) tarafından bulunan sonuçlardan ise düşük çıktığı görülmektedir. Tsai ve Chen (2000) tarafından bildirilen kappa değerleri ile Margaris ve Boore (1998), Van Houtte ve diğ. (2013) ve Ktenidou ve diğ. (2015)'nin elde ettikleri κ_0 değer aralıkları ise bu çalışmadaki sonuçlarla uyumludur.

NEHRP D zemin sınıfı için Margaris ve Boore (1998), κ_0 değerlerinin 0,046-0,076 sn aralığında değiştiğini bulmuşlardır. Tsai ve Chen (2000) tarafından kappa değerlerinin 0,0288-0,0854 sn aralıklarında değiştiği bildirilmiştir. Durukal (2002) tarafından κ_0 değerleri Kocaeli depremi için 0,072 sn ve Düzce depremi için ise 0,073 sn olarak bulunmuştur. Durukal ve Çatalyürekli (2004) tarafından 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinin artçı şokları için κ_0 değeri 0,056 sn olarak elde edilmiştir. Ktenidou ve diğ. (2012) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değeri 0,0582 sn olarak bulunmuştur. Askan ve diğ. (2014) tarafından κ_0 değerleri yatay ve düşey bileşenlerde sırasıyla 0,0455 ve 0,0271 sn bulunmuştur. Çalışmalarındaki istasyonlardan 1609 kodlu D zemin sınıfında bulunan istasyondan elde edilen κ_0 değeri yatay bileşenlerde 0,0414 sn ve düşey bileşende 0,0283 sn olarak bulunmuştur. Bu tez çalışmasında ise Tablo 3.1'den de görüleceği gibi sözü edilen istasyon için κ_0 değerleri yatay bileşende 0,0511 sn ve düşey bileşende ise 0,0380 sn olarak hesaplanmıştır. Ktenidou ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada κ_0 değerlerinin 0,025-0,080 sn aralıklarında değiştiği bulunmuştur. Bora ve diğ. (2017) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değerleri Türkiye'de 0,0433 sn ve İtalya'da 0,0271 sn olarak bulunmuştur. Yadav ve diğ.

(2018), κ_0 değerini 0,037 sn hesaplamışlardır. Chang ve diğ. (2019) tarafından κ_0 değeri 0,0643 sn olarak hesaplanmıştır. Darragh ve diğ. (2019), κ_0 değerini 0,0303 sn bulmuşlardır. Bu tez çalışmasında NEHRP D zemin sınıfında konumlanan 69 istasyon bulunmaktadır ve bu istasyonlardan kullanılan 2236 kayıttan elde edilen κ_0 değerleri 0,0243-0,0748 sn aralığında hesaplanmıştır. Ünal (2015) tarafından Bursa ilinde yapılmış çalışma ile bu tez çalışmasında kullanılan NEHRP D zemin sınıfı için ortak 12 istasyon bulunmaktadır. Ünal (2015) tarafından bulunan κ_0 değerleri yatay bileşenler için 0,0166-0,0649 sn, düşey bileşen için 0,0059-0,0557 sn aralığındadır. Bu tez çalışmasında ise κ_0 değerleri yatay bileşenler için 0,0325-0,0747 sn, düşey bileşen için 0,0303-0,0646 sn aralığında ve ortalama κ_0 değeri ise 0,0468 sn olarak hesaplanmıştır. Yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında bu çalışmada elde edilen κ_0 değerinin Askan ve diğ. (2014), Bora ve diğ. (2017), Yadav ve diğ. (2018), Darragh ve diğ. (2019) tarafından bulunan sonuçlardan yüksek; Durukal (2002), Durukal ve Çatalyürekli (2004), Ktenidou ve diğ. (2012), Chang ve diğ. (2019) tarafından bulunan sonuçlardan ise düşük çıktığı; Tsai ve Chen (2000) tarafından bildirilen kappa değerleri ile Margaris ve Boore (1998) ve Ktenidou ve diğ. (2015)'nin elde ettikleri κ_0 değer aralıklarının bu çalışmada bulunan değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir.

NEHRP E zemin sınıfında Tsai ve Chen (2000) tarafından bir istasyon için kappa değerlerinin 0,0144-0,0884 sn aralıklarında değiştiği bildirilmiştir. Ktenidou ve diğ. (2012) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değerlerinin Vs_{30} =175 m/sn olan alanda 0,08 sn bulunduğu bildirilmiştir. Bora ve diğ. (2017) tarafından yapılmış çalışmada κ_0 değerleri Türkiye'de 0,0395 sn ve İtalya'da 0,0290 sn bulunmuştur. Chang ve diğ. (2019) tarafından κ_0 değerleri ise 0,0744 sn olarak elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında NEHRP E (Vs_{30}<180 m/sn) zemin sınıfında konumlanan istasyon bulunmamaktadır.

Sonuç olarak, Marmara Bölgesi'nde AFAD Deprem Dairesi tarafından işletilen 217 kuvvetli yer hareketi istasyonu kullanılarak kappa'nın uzaklık, magnitüd ve Vs_{30} ile ilişkisi incelenmiştir. Hem istasyonun bulunduğu zemine ait kayma dalgası hızı bilinen alanlarda zemin sınıfına göre, hem de bölge geneli için kappa-uzaklık değişimine bakılmıştır. Literatürdeki diğer çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da kappa'nın uzaklık ile geniş saçılımlarla beraber ilişkili olduğu bulunmuştur. Kappa'nın magnitüd bağımlılığının ise, uzaklıkla olan ilişkisi kadar uyum göstermese de, ilişkili olabileceği gözlenmiştir. 4 ve daha fazla veriye sahip 180 istasyon için κ_0 değerleri elde edilmiştir.

Elde edilen κ_0 değerleri ile istasyonun bulunduğu zemin koşulları karşılaştırılarak Vs_{30} ile ilişki olduğu ve kappa'nın yerel alan koşullarına bağlı bir parametre olduğu görülmüştür. İstasyonun kurulu olduğu zemine ait Vs_{30} bilgisi olmayan 50 istasyon için ise elde edilen κ_0 değerleri kullanılarak zemin türü önerisinde bulunulmuştur. Kappa parametresinin uzaklık, magnitüd ve zemin ile olan ilişkisinin istasyonlar için belirlenen κ_0 değerleri, mühendislik uygulamalarında, yer hareketi modellemeleri çalışmalarında kullanılarak zemin etkisi ile ilgili bilgiler verip önemli bir eksikliği dolduracağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Abrahamson N.A., Silva W.J., Kamai R., Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions, *Earthq. Spectra*, 2014, **30**, 1025–1055.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS) Batı Kesiminin (Marmara Yanal Genişleme Sistemi) Özellikleri, https://deprem.afad.gov.tr/.

Akbaş B., Akdeniz N., Aksay A., Altun İ.E., Balcı V., Bilginer E., Bilgiç T., Duru M., Ercan T., Gedik İ., Günay Y., Güven İ.H., Hakyemez H.Y., Konak N., Papak İ., Pehlivan Ş., Sevin M., Şenel M., Tarhan N., Turhan N., Türkecan A., Ulu Ü., Uğuz M.F., Yurtsever A. ve diğ., 2011, 1:1.250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye.

Akıncı A., Malagnini L., Herrmann R.B., Gök R., Sørensen M.B., Ground motion scaling in the Marmara region, Turkey, *Geophys. J. Int.*, 2006, **166**, 635–651.

Akıncı A., D'Amico S., Malagnini L., Mercuri A., Scaling earthquake ground motions in western Anatolia, Turkey, *Physics and Chemistry of the Earth*, 2013, https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.04.013.

Aki K., Scaling Law of Seismic Spectrum, *Journal of Geophysical Research*, 1967, **72**(4), 1217-1231.

Aki K., Seismic displacements near a fault, *J. Geophys. Res*., 1968, **73**, 5359-5376.

Al Atik L., Kottke A., Abrahamson N., Hollenback J., Kappa (κ) scaling of ground-motion prediction equations using an inverse random vibration theory approach. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2014, **104**(1), 336–346.

Altınok Y., Alpar B., Yaltırak C., Şarköy-Mürefte 1912 Earthquake's Tsunami, Extension of the Associated Faulting in the Marmara Sea, Turkey, *Journal of Seismology*, 2003, **7**, 329–346.

Ambraseys N.N., Some Characteristic Features of the Anatolian Fault Zone, *Techtonophysics*, 1970, **9**, 143-165.

Ambraseys N.N., Finkel, C.**,** The Saros-Marmara earthquake of 9 August 1912, *Journ. Earthquake Eng. & Struct. Dyn.*, 1987, **15**(1), 189-212.

Anderson J.G., Hough S.E., A Model for the Shape of the Fourier Amplitude Spectrum of Acceleration at High Frequencies, *Bull. Seismol. Soc. Am*., 1984, **74**, 1969–1993.

Anderson J.G., A Preliminary Descriptive Model for the Distance Dependence of the Spectral Decay Parameter in Southern California, *Bull. Seismol. Soc. Am*., 1991, **81**, 2186–2193.

Anderson J.G., Humphrey J.R., A Least Squares Method For Objective Determination of Earthquake Source Parameters, *Seismological Research Letters*, 1991, **62**(3-4).

Arpat E., Herece E., Komut T., Şentürk K., 1999 Kocaeli ve Düzce Depremlerine Neden Olan Fayların Marmara Bölgesinin Sismotektonik Yapısı İçindeki Yerleri, *54. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, 7-10 Mayıs 2001.

Askan A., Uğurhan B., Kuzey Anadolu Fay Hattında Hibrid Yer Hareketi Simülasyonları, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, ODTÜ, Ankara, 11-14 Ekim 2011.

Askan A., Şişman F.N., Uğurhan B., Stochastic strong ground motion simulations in sparsely-monitored regions: A validation and sensitivity study on the 13 March 1992 Erzincan (Turkey) earthquake, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2013, **55**, 170-181.

Askan A., Şişman F.N., Pekcan O., A Regional Near-Surface High Frequency Spectral Attenuation (Kappa) Model for Northwestern Turkey, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2014, DOI: 10.1016/j.soildyn.2014.06.007.

Atkinson G.M., The High-Frequency Shape of the Source Spectrum for Earthquakes in Eastern and Western Canada, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1996, **86**(1A), 106-112.

Atkinson G.M., Silva W., An Empirical Study of Earthquake Source Spectra for California Earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1997, **87**(1), 97-113.

Atkinson G.M., Boore D.M., Earthquake groundmotion prediction equations for Eastern North America, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2006, **96**(6), 2181–2205.

Awasthi D.K., Shende V.J., Gupta I.D., Estimation of κ Factor for Two Types of Sites in Northeast India, *Indian Geotechnical Conference*, Mumbai, December 16–18, 2010.

Baltay A.S., Hanks, T.C.,Understanding the magnitude dependence of PGA and PGV in NGA-West2 data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2014, **104**(6), 2851–2865.

Barka A., Slip Distribution Along the North Anatolian Fault Associated with the Large Earthquakes of the Period 1939 to 1967, *Bull. Seism. Soc. Am*., 1996, **86**, 1238-1254.

Barka A., Sakınç M., Yaltırak C., Marmara Denizi'nin Jeolojisi ve Jeofiziği, Editör: Görür N., *Türkiye Denizlerinin ve Yakın Çevresinin Jeolojisi*, 131-210, 1999.

Barka A.A., Kadinsky-Cade K., Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and Its Influence on Earthquake Activity, *Tectonics*, 1988, **7**(3), 663-684.

Bay F., Fäh D., Malagnini L., Giardini D., Spectral Shear-Wave Ground-Motion Scaling in Switzerland, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2003, **93**(1), 414–429.

Beresnev I.A., Atkinson G.M., Modeling Finite-Fault Radiation from the ω^n Spectrum, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 1997, **87**, 67–84.

Beresnev I.A., Atkinson G.M., FINSIM—A FORTRAN program for simulating stochastic acceleration time histories from finite faults, *Seismological Research Letters*, 1998, **69**(1), 27–32.

Beresnev I.A., Source Parameters of Earthquakes in Eastern and Western North America based on Finite Fault Modeling, *Bull. Seismo. Soc. Am.*, 2002, **92**(2), 695-710.

Biasi G.P., Smith K.D., Site Effects for Seismic Monitoring Stations in the Vicinity of Yucca Mountain, Nevada, MOL20011204.0045, *US DOE/ University and Community College System of Nevada (UCCSN) Cooperative Agreement*, 2001.

Bindi D., Castro R.R., Franceschina G., Luzi L., Pacor F., The 1997–1998 Umbria-Marche Sequence (Central Italy): Source, Path and Site Effects Estimated from Strong Motion Data Recorded in the Epicentral Area, *J. Geophys. Res*., 2004, **105**, B04312.

Boore D.M., Stochastic simulation of high-frequency ground motion based on seismological models of the radiated spectra, *Bull. Seism. Soc. Am*., 1983, **73**, 1865-1894.

Boore D.M., Simulation of Ground Motion Using the Stochastic Method, *Pure Appl. Geophys*., 2003, **160**, 635–676.

Boore D.M., Stewart J.P., Seyhan E., Atkinson G.M., NGAWest2 equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes, *Earthq. Spectra*, 2014, **30**, 1057–1085.

Bora S.S., Cotton F., Scherbaum F., Edwards B., Traversa P., Stochastic source, path and site attenuation parameters and associated variabilities for shallow crustal European earthquakes, *Bull Earthquake Eng*, 2017, DOI 10.1007/s10518-017-0167-x.

Bouchon M,. Aki K., Discrete wave-number representation of seismic wavefields, *Bull. Seism.Soc. Am.*, 1977, **67**, 259-277.

Brandt M.B.C., Near-surface wave attenuation (kappa) of Far West Rand micro-events, *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2017, **117,** http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2017/v117n6a1.

Brune J.N., Tectonic Stress and the Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 1970, **75**(26), 4997-5009.

Building Seismic Safety Council, NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures and Accompanying Commentary and Maps, FEMA 450, Chapter 3, 2003, 17–49.

Campbell K.W., Strong Motion Attenuation Relations: A Ten Year Perspective, *Earthquake Spectra*, 1985, **1**(4), 759-804.

Campbell K.W., Prediction of strong ground motion using the hybrid empirical method and its use in the development of ground motion (attenuation) relations in eastern North America, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2003, **93**(3), 1012–1033.

Campbell K.W., Estimates of Shear-Wave Q and κ_0 for Unconsolidated and Semiconsolidated Sediments in Eastern North America, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2009, **99**(4), 2365-2392.

Campbell K.W., Bozorgnia Y., NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5% damped linear acceleration response spectra, *Earthq. Spectra*, 2014, **30**, 1087–1115.

Castro R. R., Pacor F., Sala A., Petrungaro C., S Wave Attenuation and Site Effects in the Region of Friuli, Italy, *J. Geoph. Res.*, 1996, **101**(B10), 22,355–22,369.

Castro R. R., Rovelli A., Cocco M., Di Bona M., Pacor F., Stochastic Simulation of Strong Motion Records from the 26 September 1997 (M_w 6), Umbria-Marche (Central Italy) Earthquake, *Bull.Seismol. Soc. Am.*, 2001, **91**, 27–39.

Castro R.R., Ávila-Barrientos L., Estimation of the Spectral Parameter Kappa in the Region of the Gulf of California, México, *Journal of Seismology*, 2015, DOI: 10.1007/s10950-015-9496-x.

Chandler A.M., Lam N.T.K., Tsang H.H., Near Surface Attenuation Modelling Based On Rock Shear Wave Velocity Profile, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2006, **26**, 1004-1014.

Chang S.C., Wen K.L., Huang M.W., Kuo C.H., Lin C.M., Chen C.T., Huang J.Y., The High Frequency Decay Parameter (Kappa) in Taiwan, *Pure Appl. Geophys*., DOI: 10.1007/s00024019-02219-y.

Chapman M., Talwani P., Cannon R.C., Ground Motion Attenuation in the Atlantic Coastal Plain Near Cheleston South Carolina, *Bull. Seismo. Soc. Am*., 2003, **93**(3), 998-1011.

Chapman M., Conn A., A model for Lg propagation in the Gulf Coastal Plain of the southern United States, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 2016, **106**, 349–363, doi: 10.1785/0120150197.

Chen K.P., Wang C.Y., Tsai Y.B., Chang W.Y., A Seismic Structure Study in the Kaoping Area, Southwestern Taiwan, *Bull. Seismol. Soc. Am*., 2013, **103**, 306–316.

Chiou B.S.-J., Youngs R.R., Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra, *Earthq. Spectra*, 2014, **30**, 1117–1153.

Clough R.W., Penzien J., Dynamics of Structures, *McGraw-Hill*, New York, 1975, 634.

Cormier V.F., The Effect of Attenuation on Seismic Body Waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1982, **72**(6), 169-200.

Cotton F., Scherbaum F., Bommer J.J., Bungum H., Criteria for Selecting and Adjusting Ground Motion Models for Specific Target Regions: Application to Central Europe and Rock Sites, *J. Seismol*., 2006, **10**, 137– 156.

Darragh R., Wong I., Silva W., Evaluating Kappa, Q(f) and Stress Parameter in the Southern Rocky Mountains of Central Colorado, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2019, **109**(2), 586–599.

D'Amico S., Akıncı A., Malagnini L., Predictions of High Frequency Ground Motion in Taiwan based on Weak Motion Data, *Geophys. J. Int.*, 2012, **189**, 611–628.

Demirtaş R., Deprem Öncesi Sismisite Tarihsel Dönem (1509, 1719, 1756, 1766 ve 1894 Depremleri), 2000.

Demirtaş R., Türkiye Diri Fayları ve Deprem Etkinlikleri Paleosismolojik Çalışmalar ve Gelecek Deprem Potansiyelleri, Ankara (Yayımlanmamış).

Dewey J. F., Şengör A.M.C., Aegean and Surrounding Reg: Complex Multiple and Continuum Tectonics in the Convergent Zone, *Geological Society of America Bulletin,* 1979, DOI:10.1130/0016-7606.

Douglas J., Bungum H., Scherbaum F., Groundmotion prediction equations for southern Spain and southern Norway obtained using the composite model perspective, *Journal of Earthquake Engineering*, 2006, **10**, 33–72.

Douglas J., Gehl P., Bonilla L.F., Gélis C., A κ model for Mainland France, *Pure Appl. Geophys*., 2010, **167**, 1303–1315.

Drouet S., Cotton F., Gueguen P., Vs_{30}, κ, regional attenuation and M_w from accelerograms: application to magnitude 3–5 French earthquakes, *Geophys. J. Int*., 2010, **182**, 880–898.

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

Durukal E., Çatalyürekli Y., Spectral Analysis of Source Parameters of the 1999 Kocaeli and Düzce Earthquake Aftershock Sequences, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Kanada, 1-6 Ağustos 2004.

Edwards B., Fäh D., Giardini D., Attenuation of Seismic Shear Wave Energy in Switzerland, *Geophys. J. Int.*, 2011, **185**, 967–984.

Efe R., Gölcük ve Düzce Depremleri 1999, Fatih Üniversitesi Yayınları, 2000, **7**, s 135.

Emre Ö., Erkal T., Tchepalyga A., Kazancı N., Keçer M., Ünay E., Doğu Marmara Bölgesi'nin Neojen-Kuvaternerdeki Evrimi, *MTA Dergisi*, 1998, **120**, 289-314.

Erturaç M.K., Marmara Denizi Kıyıları Veri Tabanı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002, 129457.

European Mediterranean Seismological Centre (EMSC) (https://www.emsccsem.org/Earthquake/?filter=yes) (Son ziyaret tarihi: 17 Kasım 2019)

Fahjan Y., Zeytinci A., Mert A., Assessment of Synthetic Accelerograms For Dynamic Analyses of Structures, *International Earthquake Symposium*, Kocaeli, 17-19 Ağustos 2009.

Fernández A.I., Castro R.R., Huerta C.I., The Spectral Decay Parameter Kappa in Northeastern Sonora, Mexico, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol., 2010, **100**(1), 196–206.

Gentili S., Franceschina G., High Frequency Attenuation of Shear Waves in the Southeastern Alps and Northern Dinarides, *Geophys. J. Int*., 2011, **185**, 1393–1416.

Graves R.W., Pitarka A., Broadband ground-motion simulation using a hybrid approach. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2010, **100**(5A), 2095–2123.

Guo Z., Chapman M., An Examination of Amplification and Attenuation Effects in the Atlantic and Gulf Coastal Plain Using Spectral Ratios, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2019, doi: 10.1785/0120190071.

Gürbüz C., Aktar M., Eyidoğan H., Cisternas A., Haessler H., Barka A., Ergin M., Türkelli N., Polat A., Üçer S.B., Kuleli S., Barış Ş., Kaypak B., Bekler T., Zor E., Biçmen F., Yörük A., The seismotectonics of the Marmara region (Turkey): results from a microseismic experiment, *Tectonophysics*, 2000, **316**(1-2), 1-17.

Hanks T.C., fmax, *Bull. Seismol. Soc. Am*., 1982, **72**, 1867–1879.

Hassani B., Atkinson G., Adjustable generic groundmotion prediction equation based on equivalent point-source simulations: Accounting for Kappa effects, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2018, **108**(2), 913–928.

Herece E., The Fault Trace of 1953 Yenice Gönen Earthquake an Some Examples of Recent Tectonic Events in the Biga Peninsula of Northwest Turkey, Yüksek Lisans Tezi, Perm State University, Rusya, 1985.

Huang M-W., Wen K-L., Chang S-C., Chang C-L., Liu S-Y., Chen K-P., The High-Cut Parameter (Kappa) for the Near-Surface Geology in and around the Taipei Basin, Taiwan, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2017, **107**(3).

Idriss I.M., An NGA-West2 empirical model for estimating the horizontal spectral values generated by shallow crustal earthquakes, *Earthq. Spectra*, 2014, **30**, 1155–1177.

Jo N., Baag C.E., Estimation of Site-Dependent Spectral Decay Parameter from Earthquake Ground Motions in Southern Korea, *Geosci. J.*, 2007, **11**, 165–174.

Joyner W.B., Boore D.M., Measurement, Characterization and Prediction of Strong Ground Motion, in Poc. Conf. On Earthq. Engrg. and Soil Dyn. II, GT Div., ASCE, Park City, Utah, 1988.

Kalafat D., Statistical Evaluation of Turkish Earthquake Data (1900-2015): A Case Study, *Eastern Anatolian Journal of Science*, 2016, **2**(1), 14-36.

Kamalian N., Hamzehloo H., Ghasemi H., S-Wave Attenuatıon and Spectral Decay Parameter for the Avaj Regıon, Iran, *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction A*, 2007, **31**(A1).

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/) (Son ziyaret tarihi: 15 Kasım 2019)

Kaya O., Gemlik Orhangazi Alanının Paleozoyik Temel Yapısına Yaklaşım, *Yerbilimleri*, Hacettepe Üniversitesi, 1977, **3**, 115-118.

Ketin İ., Kuzey Anadolu Fayı Hakkında, *Bull. Miner. Res. Explor. Inst. Turk*. 1969, **76**, 1-25.

Ketin İ., Genel Jeoloji (General Geology), 4th ed., İstanbul Teknik Üniversitesi, 1973.

Ketin İ., Roesli F., Makroseismische Untersuchungen über das nordwestanatolische Beben vom 18 Marz 1953, *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 1953, **46**, 187-208.

Kilb D., Biasi G., Anderson J., Brune J., Peng Z., Vernon F.L., A Comparison of Spectral Parameter Kappa from Small and Moderate Earthquakes Using Southern California ANZA Seismic Network Data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2012, **102**(1), 284–300.

Kkallas Ch., Papazachos C.B., Margaris B.N., Boore D., Ventouzi Ch., Skarlatoudis A., Stochastic Strong Ground Motion Simulation of the Southern Aegean Sea Benioff Zone Intermediate Depth Earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2018, **108**(2), 946–965.

Kramer S.L., *Geoteknik Deprem Mühendisliği*, Fersa Matbaası, 1996 (Çeviren: Kâmil Kayabalı K., 2003, Gazi Kitabevi)

Krinitzsky E.L., Chang F.K., Parameters for specifying intensity-related earthquake ground motions, Miscellaneous Paper S-73-1, Report 25, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 1987, 43 pp.

Ktenidou O-J., Drouet S., Theodulidis N., Chaljub M., Arnaouti S., Cotton F., Estimation of Kappa (κ) for a Sedimentary Basin in Greece (EUROSEISTEST): Correlation to Site Characterization Parameters, Proc. *15th World Conf. of Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal, 24–28 September 2012, 10 pp.

Ktenidou O-J., Cotton F., Drouet S., Chaljub M., Theodulidis N., (2012). Kappa (κ): estimates, origins & correlation to site characterisation parameters, AGU Fall Meeting, San Francisco, 3-7 Aralık 2012.

Ktenidou O-J., Cotton F., Abrahamson N.A., Anderson J.G., Taxonomy of κ: A Review of Definitions and Estimation Approaches Targeted to Applications, *Seismological Research Letters*, 2014, **85**(1).

Ktenidou O-J., Abrahamson N.A., Drouet S., Cotton F., Understanding the physics of kappa (κ): insights from a downhole array, *Geophys. J. Int.*, 2015, **203**, 678-691.

Kumar S., Kumar D., Rastogi B.K., Singh A.P., Kappa (κ) Model for Kachchh Region of Western India, Geomatics, *Natural Hazards and Risk*, DOI: 10.1080/19475705.2018.1447025.

Kurtuluş C., Sertçelik F., Sertçelik İ., Kuru T., Tekin K., Ateş E., Apak A., Kökbudak D., Sezer S., Yalçın D., Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt İstasyonlarının Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi, *AFAD*, UDAP-G-15-04, 2019.

Lai T-S., Mittal H., Chao W-A., Wu Y-M., A Study on Kappa Value in Taiwan Using Borehole and Surface Seismic Array, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2016, **106**(4), 1509– 1517.

Lancieri M., Madariaga R., Bonilla F., Spectral Scaling of the Aftershocks of the Tocopilla 2007 Earthquake in Northern Chile, *Geophys. J. Int*., DOI: 10.1111/j.1365246X.2011.05327.x.

Laurendeau A., Cotton F., Ktenidou O.-J., Bonilla L.-F., Hollender F., Rock and Stiff Soil Site Amplification: Dependency on Vs_{30} and Kappa (κ_0), *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 2013, **103**(6), 3131–3148.

Lermo J., Santoyo M.A., Jaimes M.A., Antayhua Y., Chavacán M., Local Earthquakes of the Mexico Basin in Mexico City: κ, Q, Source Spectra, and Stress Drop, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2016, **106**(4), 1423–1437.

Liu Z., Wuenscher M.E., Herrmann R.B., ve diğ., Attenuation of body waves in the central New Madrid seismic zone, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1994, **84**(4), 1112–1122.

Mai P.M., Imperatori W., Olsen K.B., Hybrid Broadband Ground-Motion Simulations: Combining Long-Period Deterministic Synthetics with High-Frequency Multiple S-to-S Backscattering, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2010, **100**(5A), 2124–2142.

Macovei G., Aspura Cutremurului de Pamant dela Mare de Marmara dela 9 August 1912, *Academia Romana, Publicatiunile Adamachi V.*, 1913, **33**, 260-273.

Margaris B.N., Boore D.M., Determination of $\Delta\sigma$ and κ_0 from Response Spectra of Large Earthquakes in Greece, *Bull. Seismol. Soc. Am*., 1998, **88**(1), 170–182.

Margaris B.N., Hatzidimitriou P.M., Source Spectral Scaling and Stress Release Estimates Using Strong-Motion Records in Greece, *Bull. Seismol. Soc. Am*., 2002, **92**, 1040–1059.

McKenzie D., Active Tectonics of the Mediterranean Region, *Geophys. J. R. Astron. Soc*., 1972, **30**, 109-185.

Mihailovic J., Trusne katastrofe na Mramornome moru sa narocitim pogledom na opstu seizmicnost Mramornoga mora i njegovih obala, *Srpska kraljevska akademija, posebna izdanja*, 1927, **65**, 1-303.

Mittal H., Kumar A., Stochastic Finite-Fault Modeling of M_w 5.4 Earthquake Along Uttarakhand– Nepal Border, *Nat. Hazards*, 2015, **75**, 1145–1166.

Mittal H., Wu, Y.M., Chen D.Y., Chao W.A., Stochastic Finite Modeling of Ground Motion for March 5, 2016, M_w 4.6 Earthquake and Scenario Greater Magnitude Earthquake in the Proximity of Delhi, *Nat. Hazards*, DOI: 10.1007/s11069-016-2236-x.

Motazedian D., Region-Specific Key Seismic Parameters for Earthquakes in Northern Iran, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2006, **96**(4A), 1383–1395.

Motazedian D., Atkinson G.M., Stochastic Finite-Fault Modeling Based on Dynamic Corner Frequency, *Bull.Seismol. Soc. Am*., 2005, **95**, 995–1010.

Neighbors C., Liao E.J., Cochran E.S., Funning G.J., Chung A.I., Lawrence J.F., Christensen C., Miller M., Belmonte A., Andres Sepulveda H.H., Investigation of the High Frequency Attenuation Parameter, κ (Kappa), from Aftershocks of the 2010 M_w 8.8 Maule, Chile Earthquake, *Geophys. J. Int.*, DOI: 10.1093/gji/ggu390.

Newmark N.M., Hall W.J., Earthquake Spectra and Design, EERI Monograph, Earthquake Engineering Research Institute, 1982, Berkeley, California, 103 pp.

Nicknam A., Yaghmaei Sabegh S., Yazdani A., *IUST International Journal of Engineering Science*, 2008, **19**(3), 45-55.

Okay A.I., Tectonic Units and Sutures in the Pontides, Northern Turkey, Editör: Şengör A.M.C., Tectonic Evolution of the Tethyan Region: Nato Advanced Science Institute (ASI) Series, 1989, 109-116.

Okay A.I., Kaşlılar Özcan A., İmren C., Boztepe Güney A., Demirbağ E., Kuşçu İ., Active Faults and Evolving Strike-Slip Basins in the Marmara Sea, Northwest Turkey: A Multichanel Seismic Reflection Study, *Tectonophysics*, 2000, **321**, 189–218.

Okay A.I., Tüysüz O., Akyüz H.S., Istranca Masifinin Batı Kesiminin Jeolojisi ve Tektoniği, TPAO, 3521, 107, 1995.

Okay A.I., Tüysüz O., Tethyan Sutures of Northern Turkey, *Geological Society*, 1999, **156**, 475-515.

Osaki Y., Spectral Analysis of Wave, 1976.

Oth A., Bindi D., Parolai S., Di Giacomo D., Earthquake Scaling Characteristics and the Scale-(in) Dependence of Seismic Energy-to-Moment Ratio: Insights from KiK-Net Data in Japan, *Geophys.Res.Lett.*, DOI: 10.1029/2010GL044572.

Özburan M., Sanğu E., Gürer Ö.F., Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Güney Marmara Bölgesindeki Geometrik ve Yapısal Özellikleri, *DAYK 1. Ulusal Doğal Afetler ve Yerbilimleri Sempozyumu,* Sakarya, 19-22 Mart 2008.

Özçep F., *Zeminlerin Geoteknik ve Jeofizik Analizi (İnşaatların Tasarımı Sürecinde)*, 1. Basım, Nobel Yayınları, Ankara, 2009.

Palmer S.M., Atkinson G.M., The High-Frequency Decay Slope of Spectra (Kappa) for M ≥ 3.5 Earthquakes on Rock Sites in Eastern and Western Canada, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 2020, doi: 10.1785/0120190206.

Papageorgiou A.S., Aki K., A Specific Barrier Model for the Quantitative Description of Inhomogeneous Faulting and the Prediction of Strong Ground Motion I. Description of the Model, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 1983, **73**, 693–722.

Park S.J., Lee J.M., Baag C-E., Choi H., Noh M., Estimation of Site-Dependent Spectral Decay Parameter from Seismic Array Data, *Geophysical Research Abstracts EGU2016*, **18**, 18533-1.

Park S.J., Lee J.M., Baag C-E., Estimation of High Frequency Spectral Decay (κ) for the Gyeongju Area in South Korea, *Bull.Seismol.Soc. Am.*, 2019, doi: 10.1785/0120180345.

Parolai S., Bindi D., Durukal E., Grosser H., Milkereit C., Source Parameters and Seismic Moment–Magnitude Scaling for Northwestern Turkey, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2007, **97**(2), 655–660.

Perron V., Hollender F., Bard P-Y., Gélis C., Guyonnet-Benaize C., Hernandez B., Ktenidou O-J., Robustness of Kappa (κ) Measurement in Low-to-Moderate Seismicity Areas: Insight from a Site-Specific Study in Provence, France, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2017, **107**(5), pp. 2272–2292.

Petukhin A., Irikura K., A Method for the Separation of the Source and Site Effects and the Apparent Q Structure from Strong-Motion Data, *Geophys. Res. Lett.*, 2000, **27**, 3429–3432.

Purvance M.D., Anderson J.G., A Comprehensive Study of the Observed Spectral Decay in Strong Motion Accelerations Recorded in Guerrero, Mexico, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 2003, **93**, 600–611.

Rathje E.M., Kottke A.R., Ozbey M.C., Using inverse random vibration theory to develop input Fourier amplitude spectra for use in site response, *16th Int. Conf. Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: TC4 Earthquake Geotechnical Engineering Satellite Conf.*, Osaka, Japonya, 10 Eylül 2005.

Rovelli A., Bonamassa O.,, Cocco M., Di Bona M., Mazza S., Scaling Laws and Spectral Parameters of the Ground Motions in Active Extensional Areas in Italy, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 1988, **78**, 530– 560.

Sadeghi-Bagherabadi A., Sobouti F., Pachhai S., Aoudia A., Estimation of geometrical spreading, quality factor and kappa in the zagros region, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2020, https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106110.

Safarshahi M., Rezapour M., Hamzehloo H., Stochastic Finite-Fault Modeling of Ground Motion for the 2010 Rigan Earthquake, Southeastern Iran, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2013, **103**(1), 223–235.

Scawthorn C., Johnson G.S., Preliminary report Kocaeli (Izmit) earthquake of 17 August 1999, *Engineering Structures*, 2000, **22**, 727-745.

Sertçelik F., Akçay D., Livaoğlu H., Marmara Bölgesi'ndeki Kuvvetli Yer Hareketi İstasyonları İçin Spektral Azalım Parametresinin (Kappa) Belirlenmesi, *VI. International Earthquake Symposium (IESKO2019)*, Kocaeli, 25-27 Eylül 2019.

Sertçelik F., Livaoğlu H., Yalçın D., Akçay D., Kocaeli ve Bursa'da Kurulu Kuvvetli Yer Hareketi İstasyonları İçin Spektral Azalım Parametresinin (Kappa) Belirlenmesi, *AFAD*, UDAP-G-18-03, 2019.

Silva W.J., Darragh R., Engineering Characterization of Earthquake Strong Ground Motion Recorded at Rock Sites, Palo Alto, Electric Power Research Institute, TR-102261, 1995.

Silva W., Darragh R., Gregor N., Martin G., Abrahamson N., Kircher C., Reassessment of Site Coefficients and Near-Fault Factors for Building Code Provisions, *Technical Report Program Element II: 98-HQGR-1010, Pacific Engineering and Analysis*, El Cerrito, USA, 1998.

Silva W.J., Darragh R.B., Gregor N.N., Martin G., Abrahamson N.A., Kircher C., Reassessment of Site Coefficients and Near-Fault Factors for Building Code Provisions, *NEHRP External Research Program Final Technical Report*, U.S. Geological Survey Award No. 98HQGR1010, Pacific Engineering & Analysis. El Cerrito, CA., 1999.

Stanko D., Markušić S., Ivančić I., Mario G., Gülerce Z., Preliminary Estimation of Kappa Parameter in Croatia, 2017, DOI: 10.1088/1755-1315/95/3/032014.

Straub C., Recent crustal deformation and strain accumulation in the Marmara Sea region, NW Anatolia inferred from GPS Measurements, PhD Thesis, ETH, 1996, 122p.

Straub C., Kahle H.G., Recent crustal deformation and strain accumulation in the Marmara Sea region, NW Anatolia, inferred from repeated GPS measurements, Active tectonics of Northwestern Anatolia-The Marmara Poly-Project, (ed. Schindler, C. & Pfister, M), 1997, 417-449.

Sokolov V.Y., Loh C.H., Wen K.L., Evaluation of generalized site response functions for typical soil classes (B, C, and D) in Taiwan, *Earthquake Spectra*, 2004, **20**, 1279–1316.

Sørensen B.M., Pulido N., Atakan K., Sensitivity of ground-motion simulations to earthquake source parameters: a case study for Istanbul, Turkey, *Bull Seism Soc Am*, 2007, **97**(3), 881–900.

Soysal H., Tsunami (Deniz Taşması) ve Türkiye Kıyılarını Etkileyen Tsunamiler, *İ.Ü. Deniz Bilimleri Coğrafya Enstitüsü Bülteni,* 1985, **2**, 59-67.

Şaroğlu F., Emre Ö ., Boray A., Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri, *Maden Tetkik Arama*, 8174, 1987.

Şaroğlu F., Emre Ö., Kuşçu İ., Active Fault Map of Turkey, *Publ. Miner. Res. Explor. Ins. Turk.,* 1992.

Şengör A.M.C., The North Anatolian Transform Fault: Its Age, Offset and Tectonic Significance, *J. Geol. Soc*., 1979, **136**(3), 269-282.

Şengör M.C., Yılmaz Y., Tethyan Evolution of Turkey, *Tectonophysics*, 1981, **75**, 181-241.

Taner M.F., Çağatay A., Istranca Masîfi'ndeki Maden Yataklarının Jeolojisi ve Mineralojisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 1983, **26**, 31 – 40.

Tanırcan G., Dikmen S.Ü., Variation of high frequency spectral attenuation (Kappa) in vertical arrays, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2018, https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.06.016.

Toro G.R., Abrahamson N., Schneider J.F., Model of strong ground motions from earthquakes in central and eastern North America: Best estimates and uncertainties, *Seismological Research Letters*, 1997, **68**, 41–57.

Trifunac M.D., Brady A.G., On the correlation of seismic intensity with peaks of recorded strong ground motion, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1975, **65**, 139-162.

Tsai C.C.P., Chen K.C., A Model for the High-Cut Process of Strong Motion Acceleration in terms of Distance, Magnitude and Site Condition: An Example from the SMART1 Array, Lotung, Taiwan, *Bull. Seismol. Soc. Am*., 2000, **90**, 1535–1542.

Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı (TR-KYH), http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php (Ziyaret tarihi: 01 Ekim 2019).

Uğurhan B., Askan A., Stochastic Strong Ground Motion Simulation of the 12 November 1999 Düzce (Turkey) Earthquake Using a Dynamic Corner Frequency Approach, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2010, **100**(4), 1498–1512.

Uğurhan B., Askan A., Kuzey Anadolu Fay Hattında Hibrid Yer Hareketi Simülasyonları, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, ODTÜ, Ankara, 11-14 Ekim 2011.

Ünal B., Ground Motion Simulations Based On Regional Input Parameters and Their Impact on Insurance Premiums: Bursa Case, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2015.

Üşümezsoy Ş., Igneous and Metamorphic Geology and Mineralization of Istranca Region (Geotectonic Setting and Mineralization of the Istranca Masif), *İstanbul University Earth Sciences Review*, 1982, **3**(1-2), 227-294.

Van Houtte C., Drouet S., Cotton F., Analysis of the Origins of κ (Kappa) to Compute Hard Rock to Rock Adjustment Factors for GMPEs, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2011, **101**(6), 2926–2941.

Van Houtte C., Larkin T., Ktenidou O-J., Holden C., Engineering application of high frequency ground motions in Christchurch, *NZSEE Conference*, 2013.

Van Houtte C., Ktenidou O.J., Larkin T., Holden C., Hard-site κ_0 (kappa) calculations for Christchurch, New Zealand, and comparison with local ground motion prediction models. Bulletin of the Seismological Society of America, 2014, **104**(4), 1899–1913.

Van Houtte C., Ktenidou O-J., Larkin T., Holden C., A Continuous Map of Near-Surface S-Wave Attenuation in New Zealand, *Geophysical Journal International*, 2017.

Vanmarcke E.H., Structural response to earthquakes, Chapter 8 in C. Lomnitz and E. Rosenblueth, eds., Seismic Risk and Engineering Decisions, Elsevier, Amsterdam, 1976.

Yadav R., Kumar D., Chopra S., The High Frequency Decay Parameter κ (Kappa) in the Region of North East India, *Open Journal of Earthquake Research*, 2018, **7**, 141-159.

Yang C.Y., Random Vibration of Structures, *John Wiley and Sons*, New York, 1986, 295.

Yılmaz Y., Alloctonous Terranes in the Tethyan Middle East: Anatolia and Suuraunding Regions, *Geological Society of America Bulletin*, 1990, **105**, 251-271.

Yılmaz Y., Genç Ş.C., Yiğitbaş E., Bozcu M., Yılmaz K., Geological Evolution of the Late Mesozoic Continental Margin of Northwestern Anatolia, *Tectonophysics*, 1995, **243**, 155-171.

Yılmaz Y., Tüysüz O., Yiğitbaş E., Genç C., Şengör A.M.C., Geology and Tectonic Evolution of the Pontides, *Memoirs-American Association of Petroleum Geologists*, 1997, **68**, 183-226.

Zandieh A., Campbell K.W., Pezeshk S., Estimation of κ_0 implied by the high-frequency shape of the NGAWest2 ground motion prediction equations, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2016, **106**(3), 1342–1356.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Akçay D., Sertçelik F., Frequency and Temporal Change of Coda Wave Attenuation in Gokova Bay, *Uluslararası Katılımlı Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi*, İzmir, 30 Mayıs-02 Haziran 2018.

Yavuz E., Irmak T.S., Şentürk E., Durdağ D., Sertçelik F., **Akçay D.**, 20 Temmuz 2017 Bodrum-Kos Depremi (M_w=6.6) ve Artçı Sarsıntılarının Sismotektonik Yorumu, *Engineers of Future International Student Symposium (EFIS2018)*, Zonguldak, 07-09 Haziran 2018.

Sertçelik F., **Akçay D.**, Livaoğlu H., Marmara Bölgesi'ndeki Kuvvetli Yer Hareketi İstasyonları İçin Spektral Azalım Parametresinin (Kappa) Belirlenmesi, *VI. International Earthquake Symposium (IESKO2019)*, Kocaeli, 25-27 Eylül 2019.

Sertçelik F., Livaoğlu H., Yalçın D., **Akçay D.**, Kocaeli ve Bursa'da Kurulu Kuvvetli Yer Hareketi İstasyonları İçin Spektral Azalım Parametresinin (Kappa) Belirlenmesi, *AFAD*, UDAP-G-18-03, 2019.

ÖZGEÇMİŞ

Duygu AKÇAY 1995 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul Çakabey İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini İstanbul Kartal Cevizli Lisesi'nde tamamladı. Lisans eğitimi için 2013 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümünden 2017 yılında onur öğrencisi olarak mezun oldu. 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümünde, Prof. Dr. Fadime SERTÇELİK danışmanlığında, yüksek lisans eğitimine başladı. 2020 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamlayarak mezun oldu.