

YEREL SÖNÜM OLGUSU VE EGE HORST-GRABEN SİSTEMİ ÖRNEĞİ

T.Ö. Kurtulmuş¹ ve N. Akyol²

¹ Araştırma Görevlisi Dr., Jeofizik Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

² Doç. Dr., Jeofizik Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir
Email: ozgur.kurtulmus@deu.edu.tr

ÖZET:

Yüksek deprem aktivitesine sahip Ege Bölgesi'nde grabenleri dolduran kalın alüvyon birimler üzerinde konumlanmış, kentleşme ve sanayilemenin fazla olduğu yerleşim yerleri için sismik tehlike çalışmalarının önemi her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada Ege horst-graben sisteminde, farklı zeminler için yerel sönüm parametresi elde edilmiştir. Ortama ait bölgesel sönüm, sismik dalgaların uzaklığıyla bağımlı genlik azalımını ifade etse de, yüksek frekanslarda gözlenen üstel düşüşü açıklamada yetersiz kalmaktadır. Belli bir frekansın üzerindeki frekanslarda Brune'nun (ω^{-2}) kaynak modelinden sapma eğiliminde görülen bu olgu Anderson ve Hough (1984) tarafından yerel sönüm parametresi (Q) olarak tanımlanmıştır. Bu parametrenin kökeni halen tartışılmakta olup, belirlenmesinde farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Güncel çalışmaların birçoğunda, bu parametrenin hem zemin (Q_0) hem de ortam etkilerinin (Q_r) birleşiminden oluştuğu kabul edilmektedir. Bu çalışmada, yer hareketi kaydının farklı bileşenleri için elde edilen Q değerinin, episantr uzaklığı ve magnitüd bağımlılığını incelenmiştir. Pek çok zemin için uzaklık ve büyüklüğe bağımlı olarak yerlerdeki saçılmanın fazla olduğu gözlenmiştir. Bu durum bölgenin sahip olduğu karmaşık tektonik yapı ile ilişkili kaynak ve dalga yayılım yolu etkileriyle ilişkilendirilebilir. Sırtlı yatakları ya da horst üzerindeki bazı zeminler için büyük Q_0 değerlerine karşılık gelen yüksek f_e değerleri elde edilmiştir. Bu sonuç, yüzeye yakın ayrımlı zonların yüksek frekanslarda yarattığı sönüm etkisi ile ilişkilendirilebilir.

ANAHTAR KELİMELER: Yerel sönüm parametresi, Orta Batı Ege Horst-Graben Sistemi, Türkiye

1. GİRİŞ

Bir bölgede yer hareketi nedeniyle oluşacak potansiyel sismik tehlike tahminlerini daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirebilmek için kaynak (örn., mekanizma türü, büyüklük, açığa çıkan enerji), ortam (örn., bölgesel sönüm, geometrik yayılma ve S-dalgası bileşenleri ayrıma faktörü) ve zemin (örn., zemin büyütmesi, zemin hakim titreşim periyodu) etkilerinin tanımlanması gerekmektedir. Bu etkilere neden olan her bir fiziksel olgunun/parametrenin detaylı bir şekilde irdelenmesi, sismik tehlike analizlerini daha güvenilir hale getirecektir.

Kırılma, yansımalar, difraksiyon ve dalga fazlarının dönüşümü gibi fiziksel olguların dışında, dalga yayılımını kontrol eden diğer bir önemli faktör sismik sönümdür (Edwards vd. 2015). Sismik sönüm yer içinde seyahat eden sismik dalgaların genliğindeki azalımı ifade etmektedir. Bu genlik azalımı geometrik yayılma, soğurulma ve/veya saçılma kökenli olabilir. Sönümün ölçülmesi ve sönüme neden olan fiziksel olguların tartışılması zor olmakla birlikte, sismik enerjinin yer içerisindeki dağılımına veya kaybına yol açan mekanizmaların ve dolayısıyla sismik dalgaların ilerlediği ortamın doğasının anlaşılmasını sağlaması açısından önemlidir (Stein ve Wysession 2003). Yerel sönüm (*intrinsic attenuation*), sismik enerjinin yer içi malzemesinin doğasına bağlı olarak yitimi eğiliminde tanımlanmaktadır. Saçılma kaynaklı sönüm (*scattering attenuation*) ise, yer içerisinde ilerleyen sismik dalganın karışıklı süreksizliklerin etkisiyle enerjisinin dağılması eğiliminde açıklanabilir. Bu

Olgu elastik enerjinin yitimi de il, farklı yönlere saçılmasıdır. Sismik sönümün, frekansa ba lı ve frekanstan ba ımsız etkilerin birle iminden olu tu u dü ünülmektedir. Dainty (1981) bu iki bile enin toplamını etkin kalite faktörünün tersi olarak ifade etmi tir. Yerkabu u içerisinde ilerleyen S dalgasının sönüm ifadesi izleyen e itlikle verilebilir (Futterman 1962):

$$A(f, r) = A_0 \exp(-fr / Q_{ef} V_s) \quad (1)$$

Bu e itlikte r uzaklık, f frekans, Q_{ef} etkin kalite faktörü ve V_s S-dalga hızıdır.

Kalite faktörü olarak isimlendirilen ve bölgesel sönümü ifade eden Q parametresi, yüksek frekanslarda gözlenen genlik azalımını ifade etmekte yetersiz kalmaktadır. Brune (1970)'nin 2 kaynak modelinde tanımlı olan kö e frekansından (f_c) dü ük frekanslarda, spektrumlar spektral kaynak modeli ile uyumlu iken, f_c 'den yüksek frekanslarda 2 kaynak modelinden sapmalar gözlenmi tir. Bu uyumsuzluk Hanks (1982) tarafından kesme frekansı (f_{max}) etkisi olarak adlandırılmı tir. Hanks (1982)'e göre bu etki büyük oranda yerel zemin ko ullarından kaynaklanmaktadır. Papageorgiou ve Aki (1983) benzer gözlemleri yapmı ancak bu etkinin sismik kaynak kökenli oldu unu savunmu lardır. Boore (1983), bu kesme frekansı etkisini Hanks ve McGuire (1981) tarafından önerilen stokastik yer hareketi simülasyonuna, a ıdaki ba ıntı ile dâhil etmi tir.

$$D(f) = [1 + (f / f_{max})^8]^{-1/2} \quad (2)$$

Cormier (1982) ise, kö e frekansının üzerindeki frekanslar için genlik azalımını, f^{-n} ve $\exp(-t^*f)$ ekinde iki terimin çarpımı ekinde modellemi tir. Bu modelde, t^* terimi kaynak ile alıcı arasındaki ı mın yolu boyunca sismik enerjideki toplam sönümü ifade etmektedir. Singh vd. (1982), bu üstel azalım ifadesini zemin sönüm parametresi olarak adlandırmı tir. Daha sonra Anderson ve Hough (1984), belli bir e ik frekansının (f_e) üzerindeki frekanslarda gözlemledikleri bu üstel azalım olgusunu, günümüzde de yaygın e kilde kullanılan, yerel sönüm parametresi (γ) olarak adlandırmı ve yüksek frekanslardaki genlik azalımını ifade eden e imin bu parametreye ba lı olarak tanımlanabilece ini ifade etmi lerdir.

Yapılan birçok çalı mada, yukarıda bahsi geçen yüksek frekanslardaki sönüm olgusu yeryüzüne yakın (\sim en üstteki ilk 100 m) dü ük Q de erleri (~ 10) ile ili kilendirilmı tir. Hem yüzeyde hem de kuyu içinde ölçüm yapılmasına imkân tanıyan kayıt sistemlerinin kullanılmasıyla birlikte (örn., Ktenidou vd. 2013), yüksek frekanslardaki spektral genlik azalımında zemin etkisinin de hesaba katılması gerekti i anlaşılmı tir. Ancak, ampirik do ası nedeniyle, γ 'nın kökeni ve fiziksel anlamı üzerindeki tartışmalar halen devam etmektedir (Ktenidou vd. 2013). Bazı ara tırmacılar γ 'nın sismik kaynak kökenli oldu unu savunurken (örn., Iwakiri ve Hoshiba 2012), bazı ara tırmacılar ise γ 'yı zemin etkileri ile ili kilendirmektedir (örn., Drouet vd. 2010). Anderson ve Hough (1984), γ 'nın kayıt istasyonlarının altındaki yerel jeolojik ko ullardaki de i imler nedeniyle olu an genlik azalımından etkilendi i sonucuna varmı lardır. Bazı ara tırmacılar ise, bu olguyu tanımlamak için yerel sönüm ve kaynak etkisinin birle iminden olu an alternatif bir model önermi lerdir (örn., Tsai ve Chen 2000). Douglas vd. (2010), Anderson ve Hough (1984) yakla ımı ile kuvvetli yer hareketi kayıtlarını kullanarak γ 'yı hesaplamı tir. Gentili ve Franceschina (2011), geometrik yayılım etkisinin ihmal edilebilir oldu u kabulü ile spektrumlara bölgesel sönüm düzeltmesi uyguladıktan sonra, γ de erlerini elde etmi lerdir. Alternatif bir e kilde, Bindi vd. (2006) kaynak, zemin ve uzaklık etkilerini, e zamanlı ayrı tırarak kestirimi gerçekte tirmi lerdir. Anlaşıldı ı üzere, γ 'nın kökeni, tanımı ve kestirimi ile ilgili fikir birli ine varılamamı olup, bu konu ile ilgili ayrıntılı tartışma Ktenidou vd. (2014)'te yer almaktadır.

Kestiriminde farklı yakla ımlar kullanılsa da, güncel çalı maların birço unda, bu parametrenin hem zemin (γ_0) hem de ortam (uzaklık) etkilerinin (γ_r) birle iminden olu tu u kabul edilmektedir. Ktenidou vd. (2014), bu

parametrenin kestiriminde tüm fiziksel süreçleri eksiksiz bir şekilde açıklayan bir model elde etmek için sismik kaynak etkisinin de dâhil edilebileceğini; ancak yerel zemin koşullarının belirleyici olduğunu ifade etmişlerdir.

Tamamı deprem tehlikesi ve riski altında bulunan ülkemizde ile ilgili çalışmaların az olduğunu görülmektedir (örn., Uralhan ve Askan 2010; Askan vd. 2014). Bu çalışmada, ivme spektrumlarından bölgesel sönüm etkisi giderildikten sonra, yer hareketi kaydının farklı bileşenleri için değerleri kestirilmiştir. Sonrasında, elde edilen değerlerinin episantr uzaklığı ve magnitüd bağımlılığını incelenmiştir.

2. VERİ SETİ

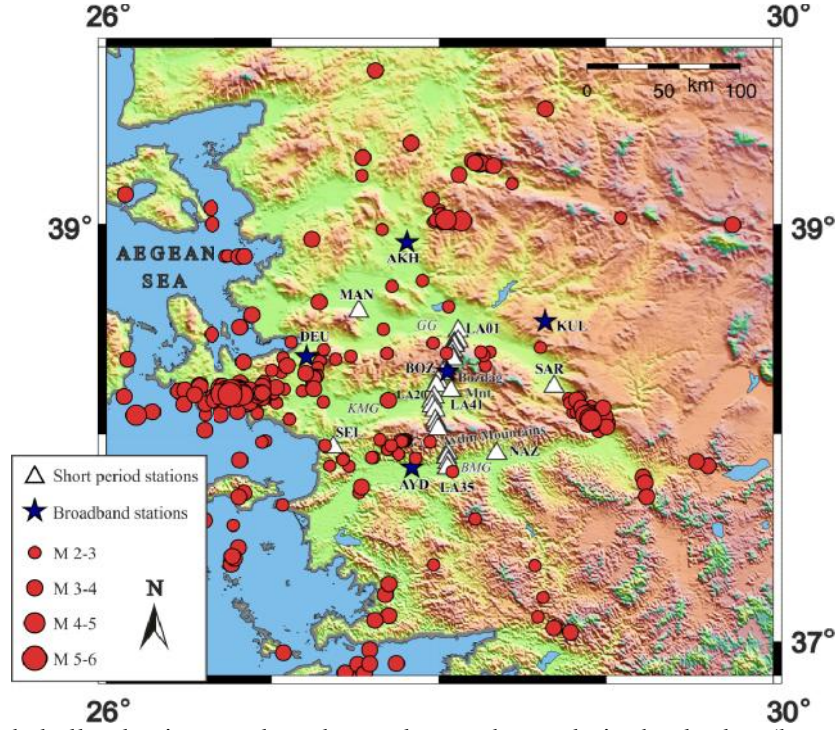
Bu çalışmada, Kasım 2002 ile Ekim 2003 tarihleri arasında faaliyet gösteren WASRE (Western Anatolia Seismic Recording Experiment) sismik ağı tarafından toplanan veri kullanılmıştır (Akyol vd. 2006; Zhu vd. 2006). Bu sismik ağda, 24 adet Mark L-22 kısa periyot (2 Hz) ve 5 adet STS-2 geni bant deprem kayıtcısı iki farklı dizilim oluşturulacak şekilde yerleştirilmiştir. Veri toplama sürecinin ilk yarısında, 20 adet kısa periyot kayıtcı Salihli-Ödemiş arasında, ikinci yarısında bu kayıtcıların 18 adedi Ödemiş-Dalaman arasında, Batı Anadolu'daki ana graben yapılarını kesecek şekilde 3-4 km aralıklarla K-G doğrultusunda yaklaşık 100 km'lik çizgisel bir hat şeklinde yerleştirilmiştir. 4 kısa periyot ve 5 geni bant kayıtcısı ise bu çizgisel hattı çevreleyen bölgesel bir sismik ağ oluşturulacak şekilde konumlandırılmıştır. Kayıt alma sürecine ait bilgi Zhu vd. (2006)'da, deprem lokasyon bilgileri ise Akyol vd. (2006)'da yer almaktadır. Ekil 1 bu çalışmada kullanılan veri ve kayıtcı dağılımını göstermektedir (Kurtulmuş ve Akyol 2013). Depremlerin büyüklükleri $2.0 < M_L < 5.6$ arasında, hiposantr uzaklıkları 3.5 ile 205 km ve odak derinlikleri ise 1.4 ile 27 km arasında değişmektedir. İlk olarak, radyal (R) ve transvers (T) bileşenlere dönüştürülmüş olan ivme kayıtlarının, her üç bileşeni için; S-dalga fazlarının 7 s uzunluğundaki süre dilimleri %5'lik kosinüs pencere ile törpüledikten sonra Fourier dönüşümü alınarak genlik spektrumları elde edilmiştir. 9-boylu kayan ortalama değeri ile yuvarlatılmış olan bu veri kullanılarak, iki farklı spektral oran yöntemi ile istasyon zeminlerine ait zemin transfer fonksiyonları elde edilip karşılaştırılmıştır (Akyol vd. 2013). Castro vd. (1990) tarafından önerilen parametrik olmayan ters çözüm algoritması parametrik hale getirilerek, sönüm fonksiyonu bileşenleri olan geometrik yayılma ve anelastik sönüm etkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir (Kurtulmuş ve Akyol 2013). Bu sönüm fonksiyonu etkisi her bir spektrumdan giderildikten sonra, yer hareketi üç farklı bileşeni için ters çözüm yöntemi ile ayrı ayrı elde edilen kaynak ve zemin transfer fonksiyonları ve ayrıca yalnızca transvers bileşeni için yerel sönüm parametresi değerleri elde edilmiştir (Kurtulmuş ve Akyol 2015). Bu çalışmada ise yer hareketinin R ve V bileşenleri için değerleri kestirilmiştir.

3. YÖNTEM

Yerel sönümü ifade eden parametresi, bir bölgedeki sismik risk ve tehlikenin sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için gereklidir. ivme spektrumunun yüksek frekanslardaki üstel genlik azalımı izleyen şekilde ifade edilir (Anderson ve Hough 1984):

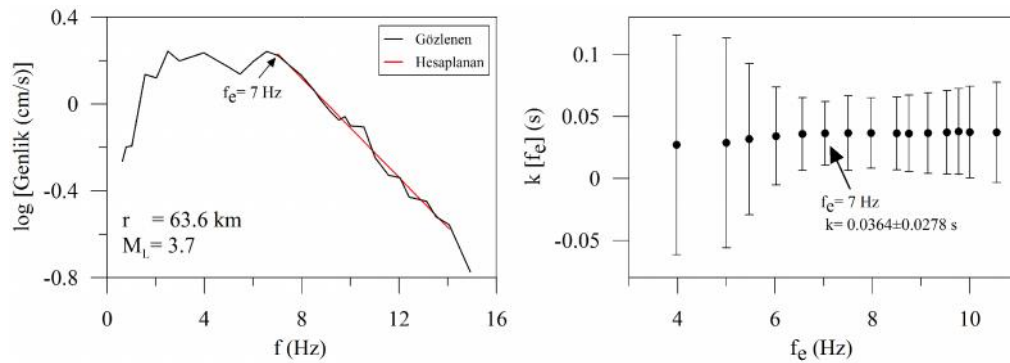
$$A(f) = A_0 e^{-\pi |f|}, \quad f > f_e \quad (3)$$

Bu bağlamda A_0 kaynak ve yayılım yoluna bağlı genliktir, sismik ağın yeryüzüne yakınlığı ve yol boyunca sönümünü ifade eden spektral azalım parametresini ve f_e ise üstel azalımın görülmeye başladığı kritik frekansını ifade etmektedir.



ekil 1. Bu çalışmada kullanılan istasyonların konumları ve depremlerin dağılımları (kırmızı noktalar). Beyaz üçgenler ve mavi yıldızlar sırasıyla WASRE ağına ait kısa periyot ve geniş bant deprem kayıtçılarıdır. GG Gediz grabeni, KMG Küçük Menderes grabeni, BMG Büyük Menderes grabenidir (Kurtulmuş ve Akyol 2013'ten alınmıştır)

Bu çalışmada, anelastik sönüm ve geometrik yayılma etkilerini içermekte olan sönüm fonksiyonu etkisi spektrumlarından giderildikten sonra, depremleri kestirilmştir. k parametresi 3 nolu bağıntı ve doğrusal regresyon yöntemi kullanılarak, her bir kayıt için tek tek hesaplanmıştır. Kurtulmuş ve Akyol (2015) tarafından gerçekleştirilen ters çözüm kaynak fonksiyonu kestirimlerine bağlı olarak, spektral genliklerin ω^2 kaynak modeli ile modellenmiştir. Kaynak modelinden olan sapmayı tespit etmek için, köşe frekansı üzerindeki her bir frekans depremini bağıntı olarak alıp, doğrusal regresyon ile depremi hesaplayan ve en küçük hatayı veren regresyon sonucunu bulmaya dayalı bir algoritma kullanılmıştır. tahminlerinin ne şekilde gerçekleştirildiği ekil 2'de görülmektedir.

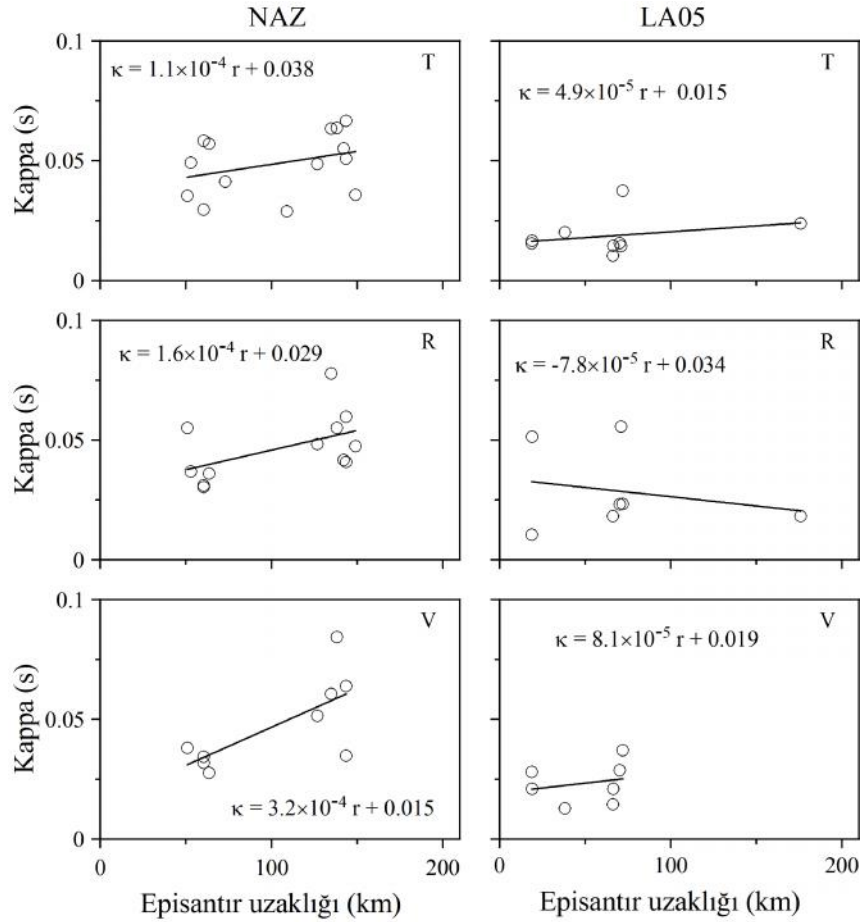


ekil 2. (Solda) Düzeltilmiş spektrumlarından kestirimi. (Sağda) kestirimleri ile doğrusal regresyon için bağıntı noktasının seçimi ve karışık gelen standart sapma depremleri. Siyah ok'un uygun tahmin depremi ile bu depreme karışık gelen f_c frekansını göstermektedir

Sonrasında de erlerinin episantr uzaklığına ba lı de i imi incelenmiştir. Bunun için, her bir kayıttan elde edilen de eri episantr uzaklığının fonksiyonu olarak grafiklenmiştir (ekil 3). stasyon zeminleri için de erleri ve episantr uzaklığı arasındaki ilişki, a a ıdaki ba ntı kullanılarak irdelenmiştir (Anderson ve Hough 1984):

$$\kappa(r) = \kappa_0 + \tilde{\kappa}(r) \quad (4)$$

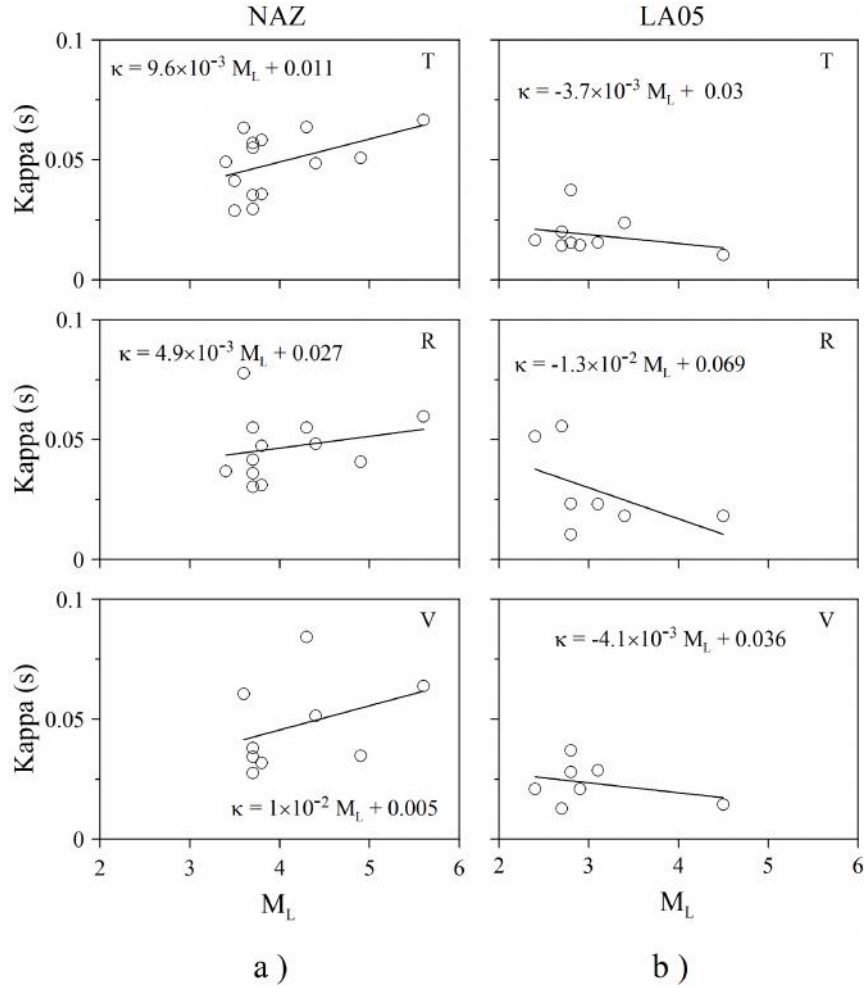
Bu ba ntıya göre, 'nın uzaklık ba ımlılığı do rusal olarak kabul edilmektedir. $\kappa(r)$ teriminin yerel sönüm olgusunun uzaklık ba ımlılığı nı ifade etti i ve κ_0 ile gösterilen zemine özel de erinin ise bölgesel sönüm etkisini içermedi i dü ünülmektedir. Benzer ekilde de erlerinin magnitüd ba ımlılığı da incelenmiştir (ekil 4). ekil 3 ve 4'te NAZ (Nazilli Ovası) ve LA05 (Bozda kuzey yamacı) istasyonları için, yer hareketi üç bile eni için elde edilen sonuçlar yer almaktadır.



a)

b)

ekil 3. Episantr uzaklıklarına kar ılıklı gelen yer hareketi transvers (T) (Kurtulmuş ve Akyol 2015), radyal (R) ve dikey (V) bile enlerinin (a) bölgesel a ındaki NAZ (Nazilli Ovası) ve (b) çizgisel hattaki LA05 (Bozda kuzey yamacı) istasyonları için de erleri. Grafikler üzerindeki eğitlikler her bir zemin için En Küçük Kareler do rularını ifade etmektedir



ekil 4. M_L magnitüd de erlerine kar ılık gelen yer hareketi T (Kurtulmu 2014), R ve V bile enlerinin (a) bölgesel a daki NAZ (Nazilli Ovası) ve (b) çizgisel hattaki LA05 (Bozda kuzey yamacı) istasyonları için de erleri. Grafikler üzerindeki e itlikler her bir zemin için En Küçük Kareler do rularını ifade etmektedir

4. DE ERLEND RME

Deprem kaydını olu turan bile enlerin tanımlanması, olası depremlerin simülasyonunu ve böylelikle daha sa lıklı deprem tehlike de erlendirmeleri yapılabilmesini olanaklı kılmaktadır. Ortama ait bölgesel sönüm parametresinin yanı sıra, ilgilenilen zemine ait yerel sönüm parametresinin de bu çalı malarda girdi parametresi olarak yer alması gerekmektedir. Bu çalı mada, Ege horst-graben sistemi üzerine yerle tirilen geçici WASRE sismik a 1 tarafından toplanan veri kullanılarak yer hareketinin radyal ve dü ey bile enlerinin de erleri kestirilmiş ve bu kestirimlerin episantr uzaklığı ve magnitüd ba ımlılı ı incelenmiştir. Ayrıca, elde edilen bulgular, Kurtulmu ve Akyol (2015) tarafından aynı veri seti kullanılarak yer hareketinin transvers bile eni için elde edilen sonuçlar ile kar ıla tırılmıştır. Literatürde, pek çok çalı mada, sa lam zeminler için elde edilen σ_0 de erlerinin alüvyon birimler için elde edilen de erlerden daha küçük olduğu gözlenmiştir (örn., Castro vd. 1995). Bu çalı mada da, benzer e kilde sa lam zeminler için daha küçük σ_0 de erleri elde edilmiştir. Çalı ılan istasyon zeminlerinin pek ço unda, uzaklık ve büyüklü e ba ılı de erlerinde saçılmanın fazla olduğu gözlenmiştir (ekil 3 ve 4). de erlerinin büyüklük ve uzaklık ba ımlılı ının zayıf olması, bölgenin sahip olduğu karma ık tektonik yapı ile ilintili kaynak ve dalga yayılım yolu etkileriyle ili kilendirilebilir. Ayrıca, sı

tortul yatakları ya da horst üzerinde konumlanan bazı istasyon zeminleri için büyük σ_0 de erlerine karşılık gelen yüksek f_e de erleri elde edilmiştir. Bu sonuç yüzeye yakın ayrı mı zonların yüksek frekanslarda yaratmış oldukları sönüm etkisini vurgulamaktadır.

KAYNAKLAR

Akyol, N., Zhu, L., Mitchell, B.J., Sözbilir, H. ve Kekovalı, K. (2006). Crustal structure and local seismicity in western Anatolia. *Geophys J Int* **166:3**, 1259-1269.

Akyol, N., Kurtulmuş, T.Ö., Çamyıldız, M. ve Güngör, T. (2013). Spectral ratio estimates for site effects on the horst–graben system in west Turkey. *Pure Appl Geophys* **170:12**, 2107-2125.

Anderson, J.G. ve Hough, S.E. (1984). A model for the shape of the Fourier amplitude spectrum of acceleration at high frequencies. *Bull Seismol Soc Am* **74:5**, 1969-1993.

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

Bindi, D., Parolai, S., Grosser, H., Milkereit, C. ve Zünbül, S. (2006). Cumulative attenuation along source-to-receiver paths in Northwestern Turkey. *Bull Seismol Soc Am* **96:1**, 188-199.

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

Brune, J. (1970). Tectonic strain and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *J Geophys Res* **75**, 4997-5009.

Castro, R.R., Anderson, J.G. ve Singh, S.K. (1990). Site response, attenuation and source spectra of S waves along the Guerrero, Mexico, subduction zone. *Bull Seismol Soc Am* **80**, 1481-1503.

Castro, R.R., Mungunia, L. ve Brune, J.N. (1995). Source spectra and site response from P and S waves of local earthquakes in the Oaxaca, Mexico, subduction zone. *Bull Seismol Soc Am* **85**, 923-936.

Cormier, V.F. (1982). The effect of attenuation on seismic body waves. *Bull Seismol Soc Am* **72**, S169-S200.

Dainty, A.M. (1981). A scattering model to explain seismic Q observations in the lithosphere between 1 and 30 Hz. *Geophys Res Lett* **8**, 1126-1128.

Douglas, J., Gehl, P., Bonilla, L.F. ve Gélis, C. (2010). A model for mainland France. *Pure Appl Geophys* **167**, 1303-1315.

Drouet, S., Cotton, F. ve Gueguen, P. (2010). V_{s30} , regional attenuation and Mw from accelerograms: application to magnitude 3-5 French earthquakes. *Geophys J Int* **182**, 880-898.

Edwards, B., Ktenidou, O.J., Cotton, F., Abrahamson N., Van Houtte, C. ve Fah, D. (2015). Epistemic uncertainty and limitations of the σ_0 model for near-surface attenuation at hard rock sites. *Geophys J Int* **202**, 1627-1645.

Futterman, W.I. (1962). Dispersive body waves. *J Geophys Res* **67**, 5279-5291.

Gentili, S. ve Franceschina, G. (2011). High frequency attenuation of shear waves in the southeastern Alps and northern Dinarides. *Geophys J Int* **185**, 1393-1416.

Hanks, T.C. (1982). f_{max} . *Bull Seismol Soc Am* **72**, 1867-1880.

Hanks, T.C. ve McGuire, R.K. (1981). The character of high frequency strong ground motion. *Bull Seismol Soc Am* **71**, 2071-2095.

Iwakiri, K. ve Hoshiba, M. (2012). High-frequency (>10 Hz) content of the initial fifty seconds of waveforms from the 2011 Off the Pacific coast of Tohoku earthquake. *Bull Seismol Soc Am* **102**, 2232-2238.

Ktenidou, O.J., Gelis, C. ve Bonilla, F. (2013). A study on the variability of kappa in a borehole, implications on the computation method used. *Bull Seismol Soc Am* **103**, 1048-1068.

Ktenidou, O.J., Cotton, F., Abrahamson, N.A. ve Anderson, J.G. (2014). Taxonomy of κ : A review of definitions and estimations approaches target to applications. *Seismol Res Lett* **85:1**, 135-146.

Kurtulmu, T.Ö. (2014). Investigation of source, site, regional and near surface attenuation characteristics in the western Anatolia region. Doktora Tezi, Jeofizik Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, zmir.

Kurtulmu, T.Ö. ve Akyol, N. (2013). Crustal attenuation characteristics in western Turkey. *Geophys J Int* **195:2**, 1384-1394.

Kurtulmu, T.Ö. ve Akyol, N. (2015). Separation of source, site and near-surface attenuation effects in western Turkey. *Nat Hazards* **77**, 1515-1532.

Papageorgiou, A.S. ve Aki, K. (1983). A specific barrier model for the quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion, part I: Description of the model. *Bull Seismol Soc Am* **73**, 693-722.

Singh, S.K., Apsel, R.J., Fried, J. ve Brune, J.N. (1982). Spectral attenuation of SH waves along the Imperial fault. *Bull Seismol Soc Am* **72**, 2003-2016.

Stein, S. ve Wysession, M. (2003). An Introduction to Seismology, Earthquakes and Earth Structure, Blackwell Publishing, Oxford, U.K.

Tsai, C.-C.P. ve Chen, K.-C. (2000). A model for the high-cut process of strong motion accelerations in terms of distance, magnitude, and site condition: an example from the SMART 1 array, Lotung, Taiwan. *Bull Seismol Soc Am* **90**, 1535-1542.

Ugurhan, B. ve Askan, A. (2010). Stochastic strong ground motion simulation of the 12 November 1999 Düzce (Turkey) earthquake using a dynamic corner frequency approach. *Bull Seismol Soc Am* **100:4**, 1-27.

Zhu, L., Akyol, N., Mitchell, B.J. ve Sözbilir, H. (2006). Seismotectonics of western Turkey from high resolution earthquake relocations and moment tensor determinations. *Geophys Res Lett* **33**, L07316.