

## VAN GÖLÜ HAVZASI İÇİN BÖLGESEL BİR DEPREM ENERJİSİ AZALIM BAĞINTISI ÖNERİSİ

\*<sup>1</sup>Turgay Beyaz ve <sup>2</sup>Şehmus Çelik

<sup>1</sup>Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye  
<sup>2</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye

### Özet

Bu çalışmada, Türkiye'nin doğusunda yer alan, Van Gölü Havzası için önerilen, pik yer ivmesine (PGA) bağlı, deprem enerjisi azalım bağıntısı anlatılmaktadır. Çalışmada, Van Gölü Havzası'nda ve çevresinde meydana gelmiş deprem kayıtları kullanılmıştır. Bu veriler, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı kontrolündeki Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt İstasyonlarının aldığı ivme kayıtlarıdır. İvme kayıtları olarak, 01 Ocak 1976 ile 31 Aralık 2018 tarihleri arasında meydana gelmiş olan depremlerin ivmeölçer kayıtları derlenmiştir. Bu amaçla, Van ili ve yakın çevresinde yaklaşık 200 km yarıçapındaki bir alanda meydana gelmiş depremler araştırılmıştır.

Bu çalışma için büyüklüğü  $4,0 \leq M_w$ , ivme değeri  $10,0 \text{ cm/s}^2 \leq \text{PGA}$  olan, 249 deprem içerisinden, DB ve KG yönündeki 162 ivme kaydı derlenmiştir. Elde edilen deprem kayıt dosyaları ile bir veri bankası oluşturulmuştur. Bu dosyalardaki deprem büyüklüğü ( $M_w$ ), ivme ( $\text{gal} = \text{cm/s}^2$ ), mesafe ( $R$ -km) bilgileri ile çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Çoklu regresyon analizi, IBM-SPSS yazılımında gerçekleştirilmiştir.

Çoklu regresyon analizi sonucunda;

$$\log Y = 10^{(\beta_0 + (\beta_1 * (M^2)) + (\beta_2 * (\log(\sqrt{1/(M^2)}))) + (\beta_3 * (\log(R+1))) + (\beta_4 * (\sqrt{\log(R^2)})) + \epsilon}$$

denkleminin, Van Gölü Havzası için bölgesel deprem enerjisi azalım bağıntısı (sönüm denklemi) olarak önerilmesinin uygun olacağı benimsenmiştir. Burada;  $\beta_0=2,173$ ;  $\beta_1=2,45*10^{-2}$ ;  $\beta_2=0,1967$ ;  $\beta_3= -1.201$ ;  $\beta_4=0.1105$ ;  $\sigma=0,308$ ;  $Y$ : önerilen denklem yardımıyla hesaplanan pik yatay yer ivmesi ( $\text{cm/s}^2$ ),  $M$ : moment magnitudü ( $M_w$ );  $R$ : mesafe (km)'dir.

**Anahtar kelimeler:** Çoklu regresyon, Depremin büyüklüğü, Deprem mesafesi, Kuvvetli yer hareketi, Pik yer ivmesi, S-dalgası hızı, Sönüm denklemi, Van Gölü Havzası

### SUGGESTION OF A REGIONAL ATTENUATION RELATIONSHIP FOR THE VAN LAKE BASIN

#### Abstract

In this study, located in east of Turkey, for Lake Van basin proposed for the peak ground acceleration (PGA) dependent on, describes the attenuation relationships. Earthquake records in and around Van Lake Basin were used in this study. This data is obtained from Turkey. These are the acceleration records taken by Strong Ground Motion Recording Stations under the control of Republic of Turkey Prime Ministry Disaster and Emergency Management Authority Presidential of Earthquake Department. Accelerometer records of earthquakes occurred between 01 January 1976 and 31 December 2018 were compiled. For this purpose, earthquakes occurred in an area of approximately 200 km radius in and around Van province were investigated.

\*Sorumlu yazar - Adres: Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Pamukkale Üniversitesi, Denizli TÜRKİYE. E-posta adresi: tbeyaz@pau.edu.tr

For this study, 162 accelerometer records in EW and NS direction were compiled from 249 earthquakes with magnitude  $4.0 \leq M_w$  and acceleration value of  $10.0 \text{ cm/s}^2 \leq \text{PGA}$ . A database was created with the earthquake record files obtained. Earthquake magnitude ( $M_w$ ), acceleration ( $\text{gal} = \text{cm/s}^2$ ), distance (R-km) etc. information for multiple regression analysis were used in these files. Multiple regression analysis was performed in IBM-SPSS software.

As a result of multiple regression analysis, below equation of;

$$\log Y = 10^{(\beta_0 + (\beta_1 * (M^2)) + (\beta_2 * (\log(\sqrt{1/(M^2)}))) + (\beta_3 * (\log(R+1))) + (\beta_4 * (\sqrt{\log(R^2)})) + \varepsilon}$$

It has been adopted that it would be appropriate for the Van Lake Basin to be proposed as a regional attenuation relationship. Where is,  $\beta_0=2.173$ ,  $\beta_1=2.45*10^{-2}$ ,  $\beta_2=0.1967$ ,  $\beta_3=-1.201$ ,  $\beta_4=0.1105$ ,  $\sigma=0.308$ , Y: peak ground acceleration ( $\text{cm/s}^2$ ) calculated using the proposed equation, M: moment magnitude ( $M_w$ ); R: distance (km).

**Key words:** Attenuation relationship, Epicentral distance, Magnitude, Multiple regression, Peak ground acceleration, Strong motion, S-wave velocity, Van Lake Basin.

## 1. Giriş

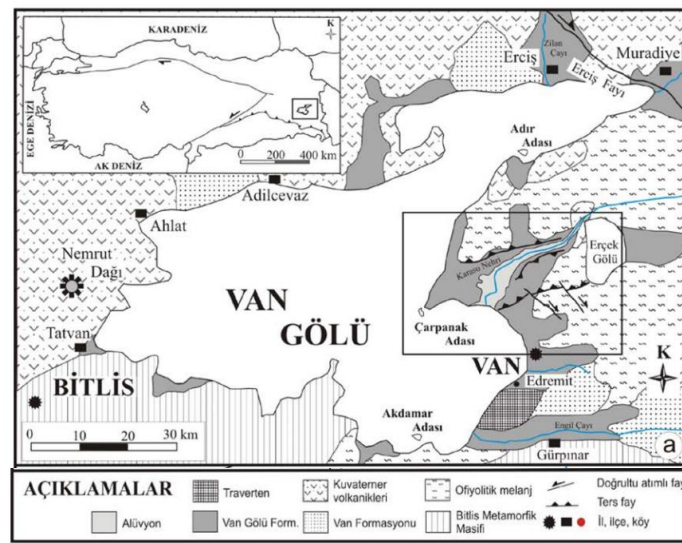
Alp-Himalaya dağ kuşağı içerisinde yer alan Türkiye, kuzeyden Rusya Levhası ve güneyden Afrika-Arap levhalarının sıkıştırma etkisine maruz kalmaktadır. Üç yönden basıncına maruz kaldığı bu kuvvetlerin etkisiyle; Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAF), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAF), Bitlis-Çüngüş Kenet kuşağı (BÇK), Menderes Grabeni (MG) vb. birbirinden farklı mekanizmayla hareket eden tektonik unsurlar ortaya çıkmıştır. Bunlar, günümüzde halen aktivitelerini sürdüren ve belirli zaman dilimlerinde büyük depremler üretebilen önemli tektonik unsurlardır.

Güncel tektonik hareketliliği halen devam eden bölgelerden birisi de, Van Gölü Havzasıdır. Tarihsel süreçte önemli can ve mal kayıplarına neden olan büyük depremler meydana gelmiştir. Bölgede meydana gelen -tarihsel ve güncel- depremler etkisiyle, Van ili ve çevresinde M.Ö. 7000 yılından beri bölgede yaşamış olan önceki medeniyetlere ait birçok tarihi ve kültürel yapı hasar görmüştür (Aytekin, 2012). 23 Ekim 2011 tarihinde magnitudü 7,2 ( $M_L=6,7$ ;  $M_W=7,2$ ) olan bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremden 17 gün sonra, 9 Kasım 2011 tarihinde saat 21:23'te Van ili, Edremit ilçesi yakınlarında, büyüklüğü  $M_w: 5,6$  olan bir deprem daha (Van-Edremit depremi) meydana gelmiştir (Şekil 1). Bölgenin tektonik haritası ve deprem lokasyonları incelendiğinde, bölgenin tektonik özelliklerinin yeteri kadar araştırılmadığı kanaati hâsıl olmaktadır. Erciş ve Edremit depremlerini üreten faylar bile günümüze kadar hala yeterince araştırılmamıştır. Van Gölü Havzası ve çevresinde deprem üretme potansiyeli olan fayların bulunma olasılığı yüksektir.

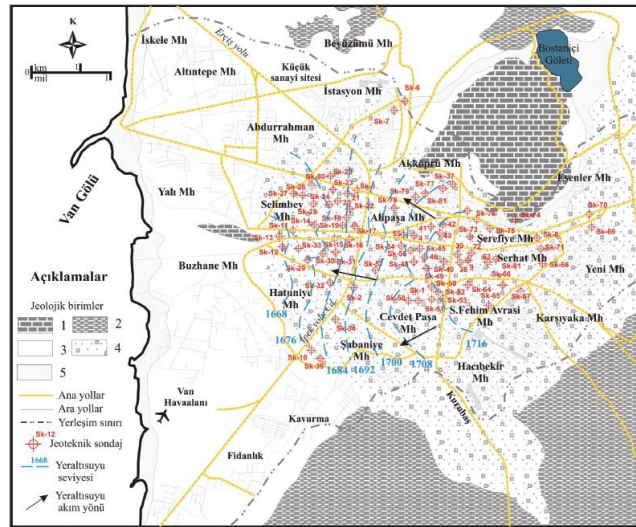
Bu çalışmada, Türkiye'nin doğusunda yer alan, Van Gölü Havzası için pik yatay yer ivmesine (PGA) bağlı hesaplanan, bölgesel deprem enerjisi azalım bağıntısı anlatılmaktadır. Bu çalışma için, Van ili ve yakın çevresinde aletsel dönemde meydana gelen depremler derlenerek pik yatay yer ivmeleri kullanılmıştır. Bu depremler arasından,  $4,0 \leq M_w$  ve  $10,0 \text{ cm/s}^2 \leq \text{PGA}$  olan ivme kayıtları içinden Doğu-Batı (DB) ve Kuzey-Güney (KG) yöündekiler kullanılmıştır. Kayıt



merkezinine yaklaşık 20 km mesafededir ve doğu-batı istikametinde uzanmaktadır. Ayrıca, bu bölgede çok sayıda fay ve fay zonu bulunmaktadır.



Şekil 2. Van Gölü Havzasının sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Aksoy, 1988; Acarlar vd., 1991; Üner, 2003)

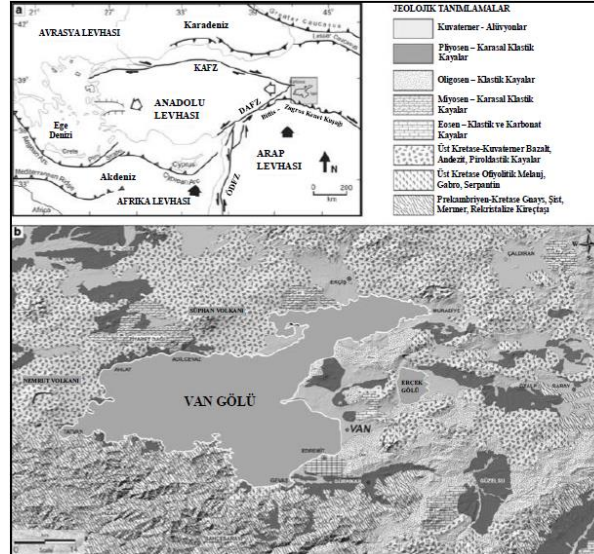


Şekil 3. Van il merkezindeki yerleşim alanının jeoloji haritası [1) Paleosen-Eosen yaşlı kireçtaşı 2) Miyosen yaşlı kıltaşı, kumtaşı, çakıltaşı ardalanması 3) Üst Pleyistosen akarsu-göl çökelleri 4) Üst Pleyistosen yelpaze çökelleri 5) Holosen yaşlı akarsu çökelleri] (Selçuk ve Aydın 2012)

### 1.3. Sönüm Denklemleri

Deprem insanlığın sürekli yaşamak zorunda kalacağı ve değiştiremeyeceği bir doğa olayıdır. Depremın hasar etkisini azaltmak veya hasardan korunmak olasıdır. Bunun yolu yapıların projelendirilmesinde, arazi ve laboratuvarında jeoteknik parametrelerin özenle ve eksiksiz elde edilmesidir. Ancak, aktif bir deprem kuşağında olan ülkemiz gibi bir yerde, bölgesel bazı jeoteknik/mühendislik özellikler günümüze kadar yeterli olarak araştırılmamıştır. Bunlardan birisi de deprem enerjisi azalım ilişkisi ya da diğer bir deyişle sönüm denklemdir. Ülkemizde

yaygın olarak kullanılan sönüm denklemleri genellikle ülkemiz dışındaki yerlerde üretilmiş denklemlerdir. Bunlardan en sık kullanılanları: Joyner and Boore (1988), Campbell (1989), Sabetta and Pugliese (1987), Fukushima and Tanaka (1990), Sadigh *et al.* (1997) tarafından üretilen azalım bağıntılarıdır.



**Şekil 4. a)** Türkiye'nin basitleştirilmiş Tektonik Haritası (Şengör *et al.*, 1985; ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu). **b)** Van Gölü Havzası ve Çevresinin Jeoloji Haritası (Selçuk *et al.*, 2010'dan değiştirilerek alınmıştır)

İthal sönüm denklemlerinin yanı sıra; İnan vd (1996), Aydan *et al.* (1996) ile Gülkan and Kalkan (2002), Ulusay *et al.* (2004), Özbey *et al.* (2004), Beyaz (2004) ve Kayabalı and Beyaz (2011) tarafından, ülkemizde oluşan depremlere ait kayıtlar kullanılarak Türkiye için üretilmiş (yerli) sönüm denklemleri de bulunmaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında dikkate alınması gerekli en önemli parametre depremin ivme değeridir. Deprem sırasında elastik dalgalar halinde yayılan enerjinin yapı üzerine etkisi yatay yer ivmesinin (yapıdaki taban kesme kuvvetinin) bir fonksiyonudur (UBC, 1988).

Van il merkezinde ivmeölçer kaydı elde edilememiştir. Ulusay *et al.* (2004) ve Çeken (2007) denklemleri kullanılarak, Van il merkezindeki PGA hesaplanmıştır. Ulusay *et al.* (2004) denklemleriyle hesaplanan pik yatay ivme değeri (PGA) 269 gal, Çeken (2007) azalım bağıntısı kullanılarak 351 cm/sn<sup>2</sup> olarak hesaplandığı ifade edilmektedir (AFAD, 2011).

Jeolojik açıdan oldukça karmaşık bir bölge olan Van Gölü havzasında meydana gelen depremlere ait ivmeölçer kayıtları kullanılarak bölgesel bir azalım bağıntısının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)'na ait ivmeölçerlerin kayıtları kullanılmıştır (AFAD, 2019).

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Deprem Kayıtları

Bu çalışmada, Türkiye'nin doğusunda yer alan, Van Gölü Havzası için pik yatay yer ivmesine (PGA) bağlı hesaplanan, bölgesel deprem enerjisi azalım bağıntısı anlatılmaktadır. Bu çalışma için, Van ili ve yakın çevresinde yaklaşık 200 km yarıçapa sahip bir alanda, aletsel deprem kayıt döneminin başlangıcı olarak kabul edilen 1976 yılından başlayarak 2018 yılı sonuna kadar (1976-2018 yılları arasında) meydana gelen depremlerin ivme kayıt dosyaları derlenerek bir veri arşivi oluşturulmuştur. Bu veri arşivindeki depremler arasından,  $4,0 \leq M_w$  ve  $10,0 \text{cm/s}^2 \leq \text{PGA}$  olanlar seçilmiştir. Hesaplamalar için deprem ivmelerinin ( $\text{PGA}=a$ ) her iki (2) yatay bileşeni olan Doğu-Batı (DB) ve Kuzey-Güney (KG) yönündekiler, mesafe (R-km), büyüklük (M) değerleri kullanılmıştır. Hesaplamalarda en büyük ivme değerine sahip yatay iki bileşen kullanılmıştır. Veriler, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD)'ın denetimindeki Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Ağı'ndan alınmıştır. Kayıt istasyonları sert zemin, orta-yumuşak zemin ve yumuşak (gevşek) zemin özelliğindeki farklı alanlara/ortamlara kurulmuştur. Deprem enerjisi azalım bağıntısı hazırlanması sırasında, kaya veya zemin gibi ortam farklılığı dikkate alınmadan genel bir sönüm denklemi elde edilmiştir.

## 2.2. Azalım ilişkileri

Azalım ilişkileri yer hareketi parametrelerini genellikle magnitüd, uzaklık ve bazı durumlarda da diğer değişkenlerin fonksiyonu olarak ifade etmektedir:

$$Y=f(M, R, P_i)$$

Burada; Y: bulunması arzu edilen yer hareketi parametresi, M: depremin büyüklüğü, R: kaynaktan proje alanına olan uzaklık (km) ve  $P_i$ : deprem kaynağını, dalga yayılma izini ve yerel arazi şartlarını tanımlamada kullanılan diğer parametreleri ifade eder.

Bütün deprem büyüklükleri (M), doygunluk problemi olmayan moment magnitüdü ( $M_w$ ) ölçeğine dönüştürüldükten sonra kullanılmıştır.

## 2.3. IBM-SPSS Yazılımı

Bu çalışmada kullanılan istatistik yöntemi SPSS analiz yöntemidir. SPSS tekniklerinin uygulanması amacıyla IBM tarafından sunulan SPSS yazılımı (IBM SPSS Statistics 2019) kullanılmıştır ([www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software](http://www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software)). Deprem verileri kullanılarak, IBM SPSS bilgisayar yazılımında "Çoklu Regresyon Analizi" yapılmıştır.

## 3. Bulgular

Mevcut deprem kayıtlarının ivme, mesafe ve magnitüd bilgileri düzenlenerek oluşturulan katalog yardımıyla istatistiksel işlemlere geçilmiştir. Deprem verilerinin istatistiksel değerlendirmesini yapabilmek için, bağımlı değişken olan pik yatay yer ivmesinin dağılım özellikleri araştırılmış ve log-normal dağılıma uyduğu görülmüştür.

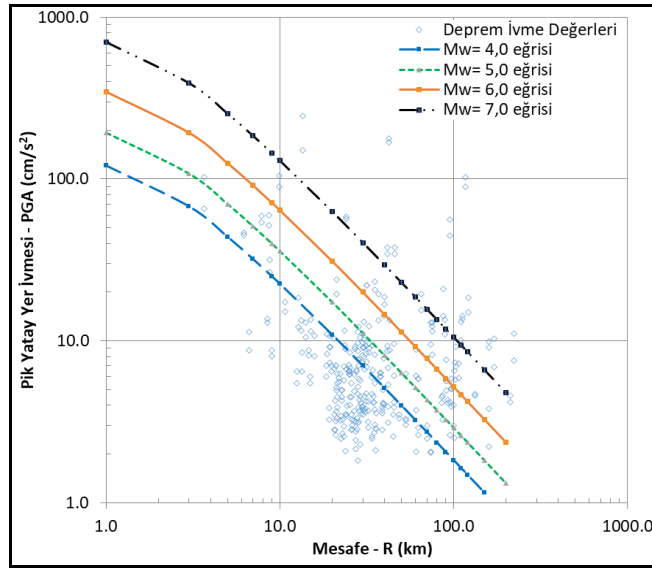
Sönüm denklemi oluşturma aşamasında birçok model türetilmiştir. Farklı 6 model denklem üzerinde detay çalışılmıştır. Bu model denklemler  $M_w$  büyüklük ölçeği kullanılarak, IBM-SPSS bilgisayar yazılımında değişkenleri (katsayıları) belirlenmiştir.

Yapılan detaylı çalışmalar sonucunda;

$$\text{Log} Y = 10(\beta_0 + (\beta_1 M^{2}) + (\beta_2 \log((1/(M^2))^{0.5})) + (\beta_3 \log(R+1)) + (\beta_4 \log(R^2)^{0.5}) + \epsilon$$

denkleminin Van Gölü Havzası için bölgesel deprem enerjisi azalım bağıntısı (sönüm denklemi) olarak önerilmesinin uygun olacağı benimsenmiştir. Burada:  $\beta_0 = 2,173$ ;  $\beta_1 = 2,45 \cdot 10^{-2}$ ;  $\beta_2 = 0,1967$ ;  $\beta_3 = -1.201$ ;  $\beta_4 = 0.1105$ ;  $\sigma = 0,308$ ;  $Y =$  önerilen denklem yardımıyla hesaplanan pik yatay yer ivmesi ( $\text{gal} = \text{cm/s}^2$ );  $M =$  moment magnitüdü ( $M_w$ );  $R =$  mesafe (km)'dir.

Bu denklem kullanılarak,  $R = 1-200$  km mesafe;  $M_w = 4.0, 5.0, 6.0$  ve  $7.0$  büyüklükleri için ivme azalım eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler, Van ve çevresinde meydana gelmiş  $4,0 \leq M_w \leq 7,2$  büyüklüğündeki gerçek depremlerin ivme değerleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 6).



**Şekil 6.** Van Gölü Havzası için önerilen sönüm denkleminin, Van ve çevresinde meydana gelmiş  $4,0 \leq M_w \leq 7,2$  büyüklüğündeki depremlerin yatay ivme değerleriyle karşılaştırılması (AFAD-DDB kayıtlarıdır). Kaya veya zemin sınıfı ayrımı yapılmamıştır (İçi boş halkalar: gerçek deprem kayıtlarındaki ivme değerlerini; Çizgiler: önerilen denklemlerle hesaplanan ivme değerlerini temsil etmektedir).

#### 4. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları kullanılarak hazırlanan model denklemler içerisinde seçilen denklemin, Van gölü havzası için “bölgesel sönüm denklemi” olarak kullanılabilmesine karar verilmiştir:

$$\log Y = 10^{(\beta_0 + (\beta_1 M^2) + (\beta_2 \log((1/(M^2))^0.5))) + (\beta_3 \log(R+1)) + (\beta_4 \log(R^2)^0.5)} + \epsilon$$

$$\beta_0 = 2,173$$

$$\beta_1 = 2,45 \cdot 10^{-2}$$

$$\beta_2 = 0,1967$$

$$\beta_3 = -1,201$$

$$\beta_4 = 0,1105$$

M: moment magnitüdü ( $M_w$ ),

R: mesafe (km)

$$\sigma = 0,308$$

Y= önerilen denklem yardımıyla hesaplanan pik yatay yer ivmesi ( $\text{cm/s}^2$ )’dir.

Bu denklemin özellikle Van Gölü Havzası ve çevresi için bölgesel olarak kullanılması daha uygun olacaktır. Önerilen sönüm denklemi, diğer bölgelerde kullanılması ile ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Detaylı bir çalışma yapılmadan bu konuda herhangi bir şey söylenmesi mümkün değildir. Bu konuda yorum yapabilmek için; farklı tektonik özelliklere sahip bölgelerin deprem verileriyle karşılaştırma yapılmalıdır.

Bu çalışma için 1976-2019 yılları arasında (yaklaşık 43 yılda) meydana gelmiş deprem kayıtları kullanılmıştır. Deprem dönüş periyotları göz önüne alındığında, 43 yılda oluşmuş depremlerin, bölgenin depremselliğini tam anlamıyla yansıtamayacağı unutulmamalıdır. Van Gölü Havzasında depremler oluştuğça, kullanılacak deprem verisi artacaktır. Sonraki yıllarda meydana gelebilecek deprem verileri de kullanılarak, önerilen azalım bağıntısının güncellenmesi gerekmektedir.

## Teşekkür

Bu araştırma, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ve Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) tarafından, altyapı ve laboratuvar imkanlarının kullanılmasına izin verilerek desteklenmiştir. Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2019KKP126 numaralı projeye, kongre katılım giderleri karşılanmıştır. Yazarlar, adı geçen kurum-kuruluşların yönetici ve çalışanları ile Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden Prof. Dr. Kamil Kayabalı’ya ve Prof. Dr. Yusuf Kağan Kadioğlu’ya teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Acarlar, M., Bilgin, Z.A., Erkal, T., Güner, E., Şen, A.M., Umut, M., Elibol, E., Gedik, İ., Hakyemez, Y. ve Uğuz, M.F. 1991. Van Gölü doğu ve kuzeyinin jeolojisi. MTA Rapor No: 9469 (in Turkish).
- AFAD. 2011. Van Depremi (23.11.2011) Raporu, TC Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı ([www.afad.gov.tr](http://www.afad.gov.tr)).
- AFAD. 2019. <http://deprem.afad.gov.tr/> (Erişim tarihi: Mayıs-Ağustos 2019).



- Akansel V., Ameri, G., Askan, A., Caner, A., Erdil, B., Kale O. and Okuyucu, D. 2014. The 23 October 2011  $M_w$ 7.0 Van (Eastern Turkey) Earthquake: Interpretations of Recorded Strong Ground Motions and Post Earthquake Conditions of Nearby Structures. *Earthquake Spectra*, 30 (2), 657-682.
- Aksoy, E., 1988. Van ili doğu-kuzeydoğu yöresinin stratigrafisi ve tektoniği. Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Elazığ, 171 s (yayımlanmamış).
- Aydan, Ö., Sedaki, M. and Yarar, R. 1996. The seismic characteristics of Turkish earthquakes. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, June 23-28, Acapulco, Mexico.
- Aytekin, O. 2012. 2011 Van depreminin yöresindeki kültür varlıklarına olan etkisi üzerine bir değerlendirme. *Batman University Journal of Life Sciences*, 1 (1), 1081-1090.
- Beyaz, T. 2004. Zemin etkisinden arındırılmış deprem kayıtları kullanılarak Türkiye için yeni bir deprem enerjisi azalım bağıntısının geliştirilmesi. Ankara Üniv., FBE, Jeoloji Müh. ABD., Doktora Tezi (yayımlanmamış), 271 s., Ankara.
- Campbell, K. W. 1989. The dependence of peak horizontal acceleration on magnitude, distance, and site effects for small-magnitude earthquakes in California and eastern North America. *BSSA*, 79 (5), 1311–1346.
- Çeken, U. 2007. Marmara Bölgesinin kuvvetli yer hareketi azalım ilişkisi modeli. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Müh. ABD, Yük. Lisans Tezi (Danışman: Yrd. Doç. Dr. Günay BEYHAN). 212 s., Adapazarı-Sakarya.
- Emre, O., Duman T.,Y., Özalp, S., Olgun, S. and Elmacı, H. 2012. “1:250,000 Scale Active Fault Map Series of Turkey, Van (NJ 38,5) Quadrangle, Serial Number: 52”, General Directorate of Mineral Reserach and Exploration, Ankara-Turkey.
- EMSC-CSEM. 2011. European Committee for Standardization. Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance – Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings, EN-1998-1: 2003. European Committee for Standardization, Brussels.
- Fukushima, Y. and Tanaka, T. 1990. A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan. *BSSA*, 80, 757-783.
- Gülkan, P. and Kalkan, E. 2002. Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey. *Journal of Seismology*, 6, 397-409.
- IBM SPSS Statistics. 2019. IBM SPSS Statistics software: SPSS Statistics V26. ([www.ibm.com/products/spss-statistics](http://www.ibm.com/products/spss-statistics); Erişim Tarihi: Haziran-Temmuz 2019).
- İnan, E., Çolakoğlu, Z., Koç, N., Bayülke, N. ve Çoruh, E. 1996. 1976-1996 Yılları arası ivme Kayıtları olan deprem kataloğu. TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, 98 s., Ankara.
- Joyner, W. B. and Boore, D. M. 1988. Measurement, characterization, and prediction of strong ground motion: *Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, 2, Recent Advances in Ground Motion Evaluation, 43-102.

- Kayabali, K., and Beyaz, T. 2011. Strong motion attenuation relationship for Turkey-a different perspective. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 70, 467-481 (DOI: 10.1007/s10064-010-0335-6).
- KOERI. 2004. **Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute**. [www.koeri.boun.edu.tr](http://www.koeri.boun.edu.tr) (Erişim Tarihi: 2019).
- KRDAE. 2011. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (<http://www.koeri.boun.edu.tr/new/>).
- Özbey, C., Sarı, A., Manuel, L., Erdik, M. and Fahjan, Y. 2004. An empirical attenuation relationship for Northwestern Turkey ground motion using a random effects approach. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 115–125.
- Sabetta, F. and Pugliese, A. 1987. Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from Italian strong ground motion records: *BSSA*, 77, 1491-1513.
- Sadigh, K., Chang, S.-Y., Egan, J.A., Makdisi, F. and Youngs, R.R. 1997. Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. *Seismological Research Letters*, V: 68, No: 1, p: 180-189.
- Selçuk, L., Sağlam-Selçuk, A., and Beyaz, T. 2010. Probabilistic seismic hazard assessment for Lake Van basin, Turkey. *Natural Hazards*, 54, 949-965 (DOI: 101007/s11069-010-9517-6).
- Selçuk, L., ve Aydın, H. 2012. Kuvaterner yaşlı alüvyal zeminlerin kuvvetli yer hareketine etkisi: 2011 Van depremleri. *Jeoloji Müh. Dergisi*, 36 (2), 75-97.
- Şengör, A.M.C., and Kidd, W.S.F. 1979. Post-collisional tectonics of the Turkish Iranian Plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55, 361-376.
- Şengör A.M.C., and Yılmaz Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181–241.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: Biddle KT, Christie-Blick N (eds) *Strike-slip faulting and basin formation*. *Soc Econ Paleontol Min Sp Pub* 37:227–264.
- UBC (Uniform Building Code). 1988. International Conference of Building Officials, 1988: UBC 1988. Section 2312 Earthquake Regulations. Whittier, CA: ICBC.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H., and Gökçeoğlu, C. 2004. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey. *Engineering Geology*, 74, 265-291.
- USGS. 2000. Implication for earthquake risk reduction in the United States from the Kocaeli, Turkey, Earthquake of August 17, 1999. U.S. Geological Survey Circular 1193, Editor: p. 64.
- USGS. 2011. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>
- Üner, S. 2003. Van Gölü doğusu (Beyüzümü Gölü dolayı) Pliyo-Kuvaterner yaşlı karasal çökellerin sedimentolojisi. Yüksek lisans tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 73 s (yayımlanmamış).