



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE DEPREM KAYITLARI KULLANILARAK
VAN GÖLÜ HAVZASI İÇİN BÖLGESEL BİR DEPREM
ENERJİSİ AZALIM BAĞINTISININ GELİŞTİRİLMESİ**

Şehmus ÇELİK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2019
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Şehmus ÇELİK tarafından hazırlanan "TÜRKİYE DEPREM KAYITLARI KULLANILARAK VAN GÖLÜ HAVZASI İÇİN BÖLGESEL BİR DEPREM ENERJİSİ AZALIM BAĞINTISININ GELİŞTİRİLMESİ" adlı tez çalışması 10.10.2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Levent SELÇUK

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Turgay BEYAZ

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Can BALCI

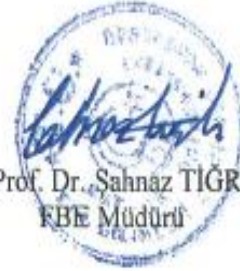
İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Prof. Dr. Şahnaz TİGREK
FBE Müdürü

Bu tez çalışması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ile Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) tarafından, altyapı ve laboratuvar imkânlarının kullanılmasına izin verilerek projersiz olarak desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Şehmus ÇELİK

30.05.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE DEPREM KAYITLARI KULLANILARAK VAN GÖLÜ HAVZASI İÇİN BÖLGESEL BİR DEPREM ENERJİSİ AZALIM BAĞINTISININ GELİŞTİRİLMESİ

Şehmus ÇELİK

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Turgay BEYAZ

2019, 94 Sayfa

Jüri

Dr. Öğretim Üyesi Turgay BEYAZ

Doç. Dr. Levent SELÇUK

Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Can BALCI

Bu tez çalışmasında, 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 100 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 ($a_g = \text{cm/s}^2$), 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 (cm/s^2), M : moment magnitüdü (M_w); R : mesafe (km)'dir.

Anahtar Kelimeler: Çoklu regresyon, Depremin büyüklüğü, Deprem Mesafesi, Kuvvetli yer hareketi, Pik yatay yer ivmesi, S dalgası hızı, Sönüm denklemi, Van ili.

ABSTRACT

MSc THESIS

DEVELOPMENT OF A REGIONAL ATTENUATION RELATIONSHIP OF SEISMIC ENERGY FOR VAN LAKE BASIN USING STRONG MOTION RECORDS OF TURKEY

Şehmus ÇELİK

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN GEOLOGICAL ENGINEERING

Advisor: Assis. Prof. Dr. Turgay BEYAZ

2019, 94 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Turgay BEYAZ

Assoc. Prof. Dr. Levent SELÇUK

Assist. Prof. Dr. Mehmet Can BALCI

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 100 km radius in and around Van province were investigated.

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 relationships.

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 (cm/s^2) calculated using the proposed equation, M : moment magnitude (M_w); R : distance (km).

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

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında büyük desteğini gördüğüm, bilgi ve birikimi ile bana rehberlik eden, tez çalışmamı tamamlamamda beni cesaretlendiren kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Turgay BEYAZ'a en derin saygı ve şükranlarımı sunuyorum.

Yüksek lisans çalışmamda büyük desteğini gördüğüm, aldığım derslerini büyük hazla dinlediğim saygıdeğer hocam Prof. Dr. Yaşar EREN'e;

Yüksek lisans ders aşamasında emeklerini gördüğüm, bilgi ve birikiminden yaralandığım kıymetli hocalarım, Dr. Öğr. Üyesi Murat ÜNAL, Dr. Öğr. Üyesi Salih DİNÇ ve Dr. Öğr. Üyesi Alim BARAN'a;

Lisansüstü çalışmamda, her türlü desteğini esirgemeyen Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı Doç. Dr. Sema TETİKER'e ve onun kıymetli şahsında Jeoloji Mühendisliği anabilim dalı yöneticilerine, bütün akademik ve idari personeline;

Lisansüstü çalışmamın bütün idari yükünü sırtlayarak, her türlü sorunların çözümünde mütevazı kişilikleriyle, naif gönül insanlıklarıyla her türlü desteklerini, teşviklerini ve katkılarını gördüğüm Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yöneticilerine, Enstitü Sekreteri ve bütün idari personeline;

Bu tez çalışmasının yazım aşamasında büyük özveriyle katkısını gördüğüm, çeşitli şekil, grafik ve Çizelgelerin çiziminde, tezin farklı bölümlerinin yazılmasında büyük emeği olan Jeoloji Müh. Gökçe KAHRAMAN'a;

ayrı ayrı en içten dileklerle teşekkür ediyorum.

Elbette ki, yaşamımdaki yerleri herkesten daha özel olan iki kişi var. Lisansüstü çalışmamın her aşamasında yanımda olan, bu konuda beni teşvik eden, tez yazımı sırasında büyük fedakârlık gösteren, bana sabırla katlanan, başından sonuna kadar manevi destekleriyle bana güç kaynağı olan aileme; biricik eşime ve sevgili oğluma en derin sevgilerimi iletiyorum.

Şehmus ÇELİK
BATMAN-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Jeoloji.....	5
1.2. Tarihsel Dönem Depremleri.....	7
1.3. Tektonizma.....	8
1.4. Depremsellik	8
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları	19
3.2. Sönüm Denklemine Hazırlanması.....	19
3.3. Deprem Magnitüd (Büyüklik) ölçekleri ve dönüşümleri	21
3.4. İstatistiksel Çalışmalar/İşlemler	21
3.5. Regresyon ve Korelasyon Analizi.....	22
4. TEORİK YAKLAŞIMLAR.....	23
4.1. Azalım İlişkileri.....	23
4.1.1. Azalım ilişkilerinde kullanılan parametreler	23
4.1.2. Azalım ilişkilerinin geliştirilmesi	26
4.2. Magnitüd Ölçekleri ve Dönüşüm Bağlılıkları.....	28
4.2.1. Depremin büyüklüğü (magnitüd).....	28
4.2.2. Richter yerel magnitüdü (ML)	29
4.2.3. Yüzey dalgası magnitüdü (Ms).....	30
4.2.4. Moment magnitüdü (M _w)	30
4.2.5. Süre magnitüdü (M _D).....	34
4.3. Regresyon ve Korelasyon Analizi.....	35
4.3.1. Regresyon analizi ve amaçları.....	36
4.3.1.1. Basit regresyon analizi.....	36

4.3.2. Korelasyon analizi.....	36
4.3.2.1. Korelasyon katsayısı (R).....	37
4.3.2.2. Korelasyon katsayısının önem kontrolü ve ilgili testler.....	38
4.4. SPSS Bilgisayar Programı.....	38
4.4.1. Ana komutlar.....	39
4.4.2. SPSS uygulama işlemleri.....	40
5. ÇALIŞMA İÇİN VERİLERİN DERLENMESİ.....	45
5.1. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları (KYHK).....	45
5.1.1. Deprem kayıtlarının düzenlenmesi.....	47
6. DEPREM KAYITLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	48
6.1. Yerel Zemin Özelliklerinin ve Mesafenin Deprem Kayıtlarına Etkisi.....	48
6.2. Türkiye Deprem Verileri İle Üretilen (Yerli) Sönüm Denklemleri.....	48
6.3. Türkiye’de Kullanılan Yabancı Menşeli (İthal) Sönüm Denklemleri.....	51
6.4. Yerli Sönüm Denklemlerinin Karşılaştırılması.....	53
6.5. Yabancı (ithal) Sönüm Denklemlerinin Karşılaştırılması.....	54
6.6. Van Gölü Havzası İçin Önerilecek Bölgesel Sönüm Denklemi İçin Magnitüd Türü.....	56
6.7. İstatistiksel Çalışmalar ile Sönüm Denklemi Hazırlanması.....	57
6.7.1. Çoklu regresyon analizi	58
6.7.1.1. SPSS programı uygulaması	58
6.8. Sönüm Denkleminin Elde Edilmesi	59
7. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER	71
8. KAYNAKLAR.....	72
EKLER	83
EK-1	83
EK-2	89
ÖZGEÇMİŞ	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

km : kilometre
KYH : Kuvvetli Yer Hareketi
KYHK: Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları
m : metre
MTA : Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
P : Sıkışma dalgası
V_P : P dalgası hızı
PGA : Pik yatay yer ivmesi
R₂ : Korelasyon katsayısı
PSA : Pseudo Spektral İvme
R_{epi} : Deprem dış merkezine olan uzaklık
R_{hipo} : Deprem iç merkezine olan uzaklık
R_{rup} : Fayın yüzey kırığına olan en yakın mesafe
S : Kesme dalgası
V_S : Kesme dalgası hızı
S : saniye
V_{S30} : Üst 30 metredeki kayma-dalgası hızı
σ : Standart sapma
a : ivme
a_{maks} : maksimum yer ivmesi
g : yerçekimi ivmesi
log : Doğal logaritma (10 tabanlı logaritma)
M_D : Süreye bağlı magnitüdü (büyüklüğü)
M_L : Yerel büyüklük
M_s : Yüzey dalgası büyüklüğü
M_w : Moment magnitüdü

Kısaltmalar

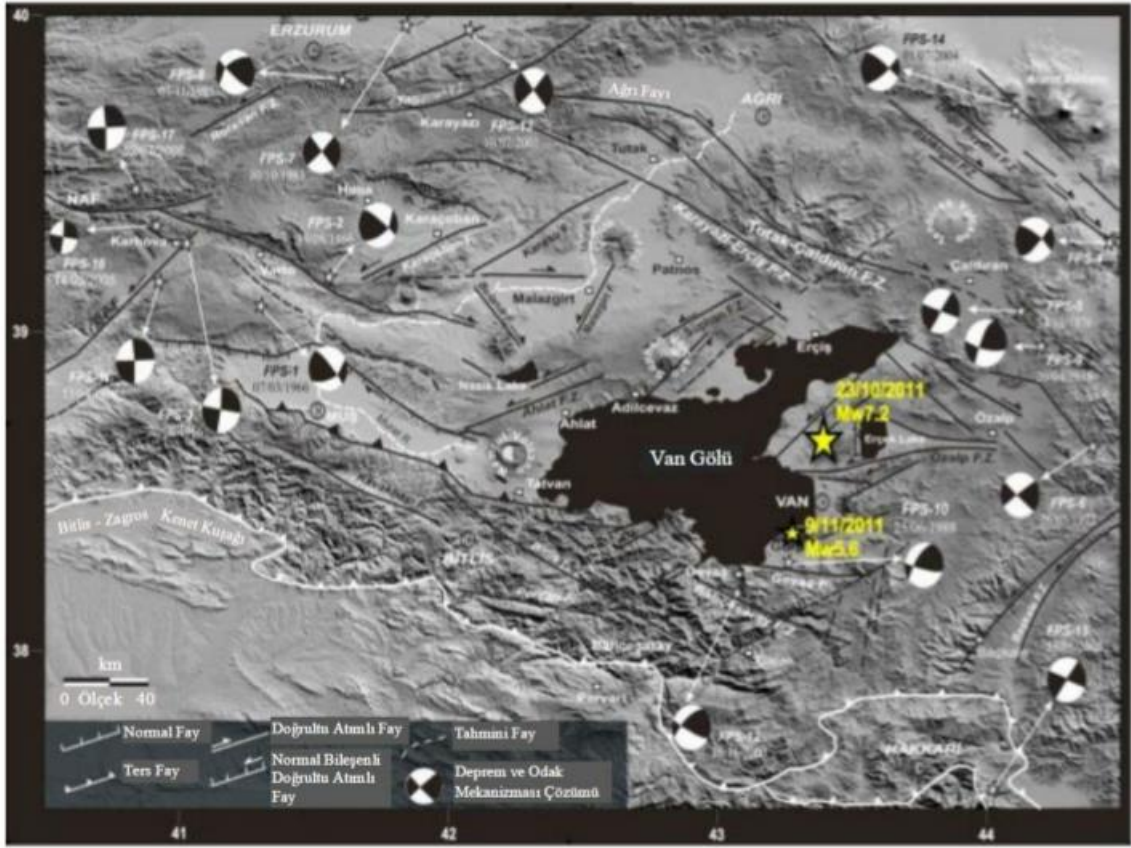
T.C. : Türkiye Cumhuriyeti
AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
DDB : Deprem Dairesi Başkanlığı
Hz : Hertz
İTÜ : İstanbul Teknik Üniversitesi
SGS : (Amerika) Birleşik Devletler Jeologlar Birliği
EMSC: The European-Mediterranean Seismological Centre (Avrupa-Ortadoğu Sismologlar Birliği)
METU : Orta Doğu Teknik Üniversitesi
YTU : Yıldız Teknik Üniversitesi
DB : Doğu-Batı
KG : Kuzey-Güney
Z (UD) : Yukarı-aşağı (düşey) yön
KAFZ : Kuzey Anadolu Fay Zonu
DAFZ : Doğu Anadolu Fay Zonu
BÇK : Bitlis-Çüngüş Kenet kuşağı
MG : Menderes Grabeni
vb : ve benzeri (ve bu gibi)
vd : ve diğerleri
KRDAE : Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü

1. GİRİŞ

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. En son 2011 yılında magnitüdü 7,2 ($M_w=7,2$) olan bir deprem meydana gelmiştir.

Bu tez çalışmasında, Türkiye'nin doğusunda yer alan, Van Gölü Havzası için pik yer ivmesine (PGA) bağlı hesaplanan, bölgesel deprem enerjisi azalım bağıntısı anlatılmaktadır. Türkiye'nin doğusunda yer alan Van il merkezi ve Erciş ilçesi arasında, 23 Ekim 2011 tarihinde, merkez üssü Tabanlı Köyü olan (Van-Erciş depremi) (Şekil 1) ve lokal (yerel) magnitüd (büyüklük) ölçeğinde (M_L) değeriyle 6,7 büyüklüğünde (Moment Magnitüdü $M_w=7,2$ olan) bir deprem meydana gelmiştir. Bu tarihten sonra 2012 yılı sonuna kadar, bölgede farklı magnitüdlere 6000'den fazla irili ufaklı deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin büyük bir bölümü artçıdır. Bu çalışma için, Van ili ve yakın çevresinde yaklaşık 200 km yarıçapa sahip bir alanda, 1976 ve 2019 yılları arasında meydana gelen tüm depremler derlenerek-incelenmiştir. Bu depremler arasından, $4,0 \leq M_w$ ve $5,0 \leq PGA$ olan depremlerin her 3 bileşeni de (DB, KG ve z) dikkate alınarak, veri bankasına eklenmiştir. Ancak, en büyük ivme değerine sahip olan her iki yatay bileşen hesaplamalarda kullanılmıştır. Bu amaçla, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD)'nın kurduğu kuvvetli yer hareketi kayıt şebekesinin kaydettiği deprem kayıt verileri kullanılmıştır. Kayıt istasyonları kaya, zemin ve yumuşak zemin özelliğindeki farklı alanlara/ortamlara kurulmuştur. Ancak, bu çalışmada ortam farklılığı dikkate alınmadan ortak bir sönüm denklemi elde edilmiştir.



Şekil 1. Van ili çevresindeki aktif faylar ve 2011 yılı depremleri (Selçuk vd., 2010'dan değiştirilerek alınmıştır)

23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen Van-Erciş depreminin büyüklüğü (Mw), değişik araştırma kurumları tarafından farklı değerlerde verilmiştir (Çizelge 1). Yaklaşık 50 saniye süren bu deprem sırasında enerjinin esas/büyük kısmı (hasar yapıcı enerji) yaklaşık 20 saniyede açığa çıkmıştır (AFAD, 2011). AFAD (2011) raporuna göre, 604 kişi hayatını kaybetmiş; konut, ticari veya resmi kurum binalarının yıkılması veya hasar görmesine bağlı olarak 4000'den fazla kişi yaralanmış, Özellikle Erciş ilçesinde (yaklaşık 60 bina) ve Van il merkezinde çok sayıda bina yıkılmıştır. Bu depremden 17 gün sonra, 9 Kasım 2011 tarihinde saat 21:23'te Van ili, Edremit ilçesi yakınlarında, büyüklüğü Mw: 5,6 olan (Çizelge 1) bir deprem daha (Van-Edremit depremi) meydana gelmiştir (Şekil 1). Van ilinde şiddetli olarak hissedilen deprem il genelinde önemli yapısal hasara; 25 binanın yıkılmasına 40 kişinin ölümüne ve 30 kişinin yaralanmasına neden olmuştur (AFAD, 2011).

Çizelge 1. 23 Ekim 2011 Van-Merkez ve 09 Kasım 2011 Van-Edremit depremlerine ait çeşitli kuruluşlarca verilen parametreler

Kurum / Kuruluş	Zaman (TS)	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (km)	Magnitüd
AFAD-DDB	13:41:20	38.6890	43.4657	19,0	M _L =6,7 M _w =7,0
Kandilli Rasathanesi	13:41:21	38.7758	43.3602	5,0	M _w =7,2
USGS	13:41:21	38.6910	43.4970	16,0	M _w =7,1
EMSC-CSEM	13:41:22	38.7800	43.4000	10,0	M _w =7,2
AFAD-DDB	21:23:34	38.4382	43.2825	21,5	M _L =5,6
Kandilli Rasathanesi	21:23:33	38.4295	43.2342	5,0	M _L =5,6
USGS	21:23:33	38.4290	43.2290	5,0	M _w =5,6
EMSC-CSEM	21:23:35	38.4200	43.2900	6,0	M _w =5,7

Selçuk et al., (2010) tarafından, Van Gölü Havzasının probabilistik sismik tehlike analizi ile ilgili yapılan çalışmada; 23 Ekim 2011 depreminden önce, Van Gölü Havzasında deprem oluşma riskinin arttığı, muhtemelen büyük bir depremin meydana gelebileceği ortaya konulmuştur.

Depremler sonrasında, meydana gelen hasarın nedenlerini araştırmak için bu bölgede Jeoloji, Jeofizik ve İnşaat mühendislikleri alanından araştırmacılar tarafından birçok çalışma yapılmıştır (Doğan and Karakaş, 2013; Emre et al., 2011; Koçyiğit et al., 2011; METU-EERC, 2011; Özkaymak et al., 2011; Selçuk and Aydın, 2012; YUTU-DBAM, 2011; vb. gibi). Bu araştırmalarda tektonizma, depremin özellikleri, deprem hasarının nedenleri, deprem-yerel zemin şartları-yapı ilişkisi ve mühendislik yapılarının karakteristik özellikleri ortaya konmaya çalışılmıştır (Selçuk ve Aydın, 2012). Ayrıca, bu depremler etkisiyle, Van ili ve çevresinde M.Ö. 7000 yılından beri bölgede yaşamış olan önceki/eski medeniyetlere ait, birçok tarihi ve kültürel yapı hasar görmüştür ve onarılmaları gerekmektedir. Eski tarihi kayıtlara bakıldığında, bölgede daha önceden de yıkıcı bir çok deprem meydana gelmiştir (Aytekin, 2012).

Van depremleri sırasında meydana gelen hasar dağılımına bakıldığında, alüvyal zeminler üzerinde bulunan yerleşim alanlarında, yapısal hasarın yüksek olduğu görülmektedir. Depremlerde ölçülen pik yer ivmesi (PGA) değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığı zaman, zeminlerin yer hareketi ve yapısal hasarlar üzerindeki etkisi anlaşılmaktadır. Edremit merkezli depremde travertenler üzerinde kaydedilen yatay yer ivmesi değeri 0,10 g iken, yaklaşık 15 km uzaklıkta alüvyal zemin üzerinde kaydedilen yatay yer ivmesi değeri ise 0,25 g dir. Zeminin yer ivmesi üzerindeki etkisi 2,5 kattır (Selçuk ve Aydın, 2012).

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE, 2011) 23 Ekim depreminin merkez üssünün 38.77578 K, 43.3602 D koordinatlarında olduğunu yayınlamıştır. Depremi episantrı Tabanlı Köyü olup Van il merkezinden 30 km kuzeydedir (Şekil 1). 23 Ekim 2011 Van depreminde yüzey kırığına rastlanmamıştır. Farklı araştırma kurumları ve/veya enstitüler tarafından depremin odağı için 5 ile 19 km arasında birbirinden farklı derinliklerde olduğu ifade edilmektedir (Çizelge 1). USGS (2011) tarafından yayınlanan fay bilgisi olarak, yumuşak çökellerde yaklaşık 30-60 cm arasında bir yükselmenin olduğu ifade edilmektedir. 2000 tane artçı şok meydana gelmiştir. Artçı şoklardan yedi tanesinin magnitudü 5'ten büyüktür ($M \geq 5,0$). Bunlardan birinin moment büyüklüğü (M_w) 5,7; yerel büyüklüğü (M_L) 5,8'dir. Deprem, Diyarbakır, Batman, Şırnak, Muş, Erzurum, Bingöl, Bitlis, Ağrı, Iğdır, Malatya, Adıyaman ve Kahramanmaraş şehirleri dahil, Türkiye'nin doğu ve güney bölgelerinde geniş bir alanda hissedilmiştir.

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre, Van ili genel nüfusu 2010 yılında 1.036.000 kişi olup bunun 540.000'i Van şehir merkezinde bulunmaktadır. 2011 yılında, depremlere bağlı olarak yaklaşık 50.000 kişi başka illere göç etmiştir. 2018 yılında il genel nüfusu 1.123.784'e yükselmiş olup, merkez ilçe nüfusu 472.766 kişidir.

Deprem, özellikle merkez üssüne yakın olan Erciş ilçesindeki binalarda önemli hasarlara neden olmuştur. Depremi merkez üssü net olarak belirlenememiş olmasına rağmen, Erciş ilçesinin Van il merkezine ve depremin merkez üssüne yaklaşık eşit uzaklıkta olduğu tahmin edilmektedir. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yayınlanan resmi rapora göre (AFAD, 2011); 604 can kaybı, 4000'den fazla yaralı bulunmaktadır. Mühendislik ilkelerine (standartlara) uyulmadan inşa edilmiş bazı konut ve ticari yapıların çökmesi veya ağır hasar görmesi nedeniyle can kaybı ve yaralı sayısı fazladır.

Bu depremde, sıvılaşma ve ilgili zemin deformasyonlarının belirgin olduğu özellikle Van kentinin kuzeyindeki Karasu Nehri'nin Erciş Ovası ve Karasu nehrindeki taşma ovasında yaygın olarak kum konileri, diğer deyişle sıvılaşma emarelerinin gözlemlendiği rapor edilmiştir. Buna bağlı olarak deprem hasarının arttığı, özellikle Erciş ilçesi civarında depremden etkilenen bölgenin kuzey kesiminde, sıvılaşmaya bağlı olarak yanal yayılma olgularına da rastlandığı ifade edilmektedir (AFAD, 2011).

Bu depremin etkisiyle, Van Gölü kıyısında değişiklikler oluşmuştur. Göl kıyısındaki belirli yerlerde, özellikle deprem bölgesinin kuzey ve doğu bölgelerinde yapılan ölçümler, depreme neden olan fayın etkisiyle (doğultu atımlı fayın hareketi

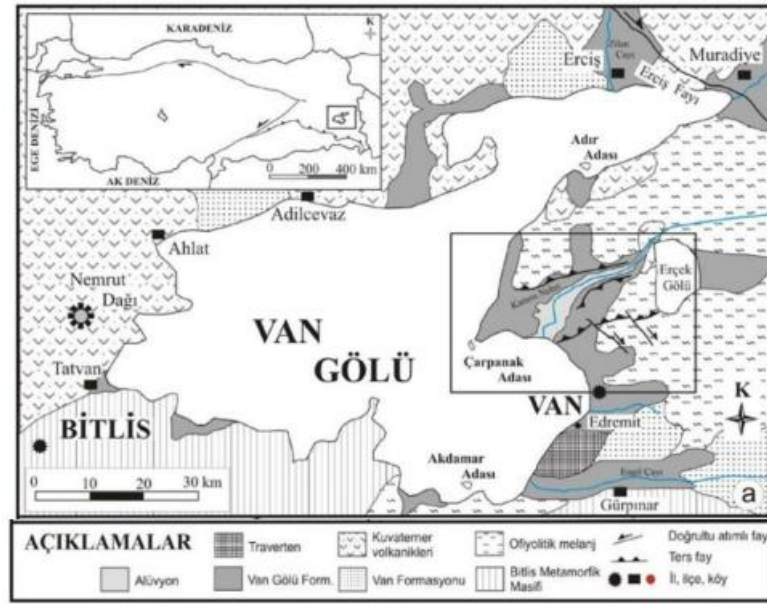
etkisiyle) kıyı şeridinin 15 ile 35 cm arasında yükseldiğini göstermiştir. Erciş ilçesinin fayın tavan bloğunda olması nedeniyle hasar oldukça ağır iken; Van kentindeki hasar, göreceli olarak daha azdır. Dolayısıyla, 23 Ekim 2011 tarihli bu deprem “Van-Erciş Depremi” olarak adlandırılmıştır.

Van-Erciş depreminden 17 gün sonra, bölgede 9 Kasım 2011 tarihinde yerel saatle 19:23'te, ($M_w = 5,6$ büyüklüğünde) bir deprem daha yaşanmıştır. Bu depremin merkez üssü, Van Gölü'nün doğu kıyısındaki Edremit ilçesinin yakınında, Van şehir merkezinin yaklaşık 16 km güneyinde yer almaktadır (Şekil 1) ve deprem, 9 Kasım 2011 tarihli Van-Edremit depremidir. KRDAE (2011), USGS (2011) ve EMSC-CSEM (2011) tarafından tahmin edilen depremin odak derinliği 5-6 km'dir. AFAD (2011)'a göre 21,5 km'dir. Bu deprem Van şehir merkezinde 25 binanın yıkılmasına neden olmuştur. Bu depremde yıkılan 23 bina, 23 Ekim 2011 depreminde oluşan hasar nedeniyle, daha önceden boşaltıldığı için herhangi bir can kaybına neden olmamıştır. Ancak, hafif hasarlı olan fakat yine de kullanılan 2 otel binası ikinci depremde yıkılmış ve orada kalanlardan 40 kişi hayatını kaybetmiş, 30 kişi de yaralanmıştır.

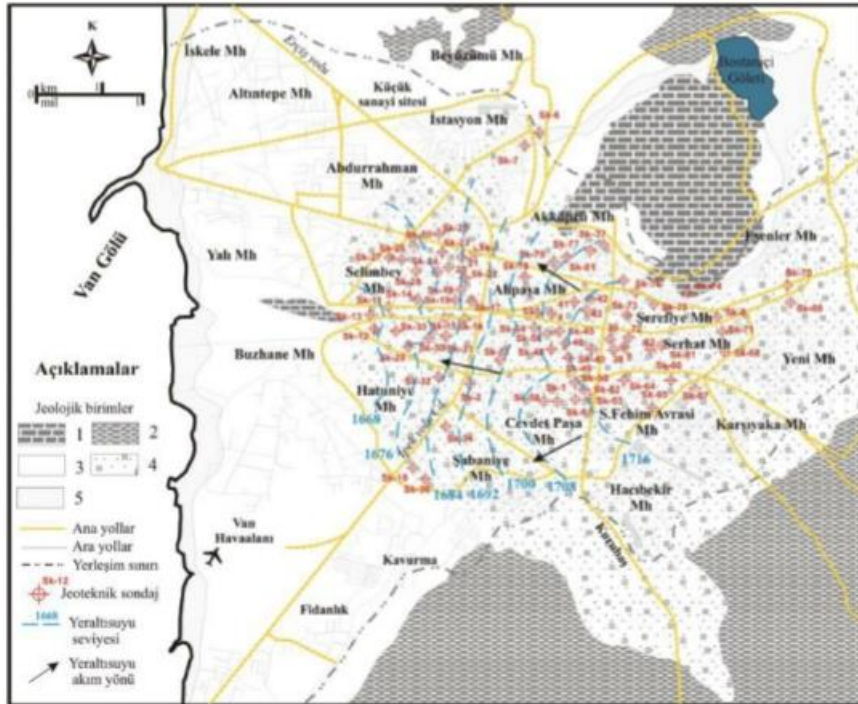
1.1. Jeoloji

Van Gölü Havzası, Geç Miyosen'deki Avrasya ve Arap Plakaları arasındaki çarpışma sonucu ortaya çıkan Doğu Anadolu Platosu'nda bulunmaktadır (Şengör ve Kidd, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981). Geç Pliyosen'de oluşan Van Gölü Havzası (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986), Bitlis Metamorfikleri, Üst Kretase ofiyolitleri ve Van Formasyonu olarak adlandırılan Oligosen-Miyosen yaşlı derin denizel çökellerden oluşan bir temel üzerinde yer almaktadır. Van Gölü'nü çevreleyen bölgede, Paleozoyik'ten Holosene kadar değişen yaşlarda farklı kaya birimleri ve alüvyal çökeller yer almaktadır (Şekil 2). Van Gölü bölgesi güneyde Bitlis Masifine ait metamorfik kayaçlar, doğuda Yüksekova Kompleksinin volkanik ve ofiyolitik kayalıkları ve genç yeni fluviatil ve lakustrin yatakları, batıda ve kuzeyde volkanik ve volkan-klastik kayaçlar, Nemrut Süphan ve Tendürek denilen eski volkanlardan oluşmaktadır (Şekil 2). Van ili yerleşim alanı Kuvaterner yaşlı göl, akarsu ve karasal çökeller üzerinde kuruludur (Şekil 3). Bölgenin stratigrafik özelliklerine göre, en yaşlı birimler, farklı metamorfik fasiyeslerin (çoğunlukla şist, gnays, mermer ve kuvarsit) kaya birimlerinden ve eski okyanus tabanına ait ofiyolitlerden oluşan Bitlis Masifi ile temsil edilmektedir (Yılmaz ve diğ., 1981) (Şekil 2 ve 3). Bu kayaların yaşı Permien

öncesi olarak kabul edilir. Yüksekova Kompleksinin Üst Kretase ofiyolitik melanji esas olarak serpentinit, radyolarit, gabro ve kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır. Detritik kayalardan oluşan Üst Paleosen flişi, Yüksekova Kompleksi'nin en genç fasiyesi olarak kabul edilmektedir. Bazı alanlarda, bu kaya birimleri açısız uyumsuzlukla Tersiyer yaşlı formasyonlar tarafından üzerlenmektedir (Çiftçi ve diğ., 2008).



Şekil 2. Van Gölü Havzasının sadeleştirilmiş Jeoloji haritası (Aksoy, 1988; Acarlar vd., 1991; Üner, 2003'den değiştirilmiştir)



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

1.2. Tarihsel Dönem Depremleri

Van Gölü Havzasında, günümüze gelinceye kadar, tarihsel dönemde birçok deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden önemli görülenlerden bazıları aşağıda sunulmuştur (Çizelge 2, Şekil 4).

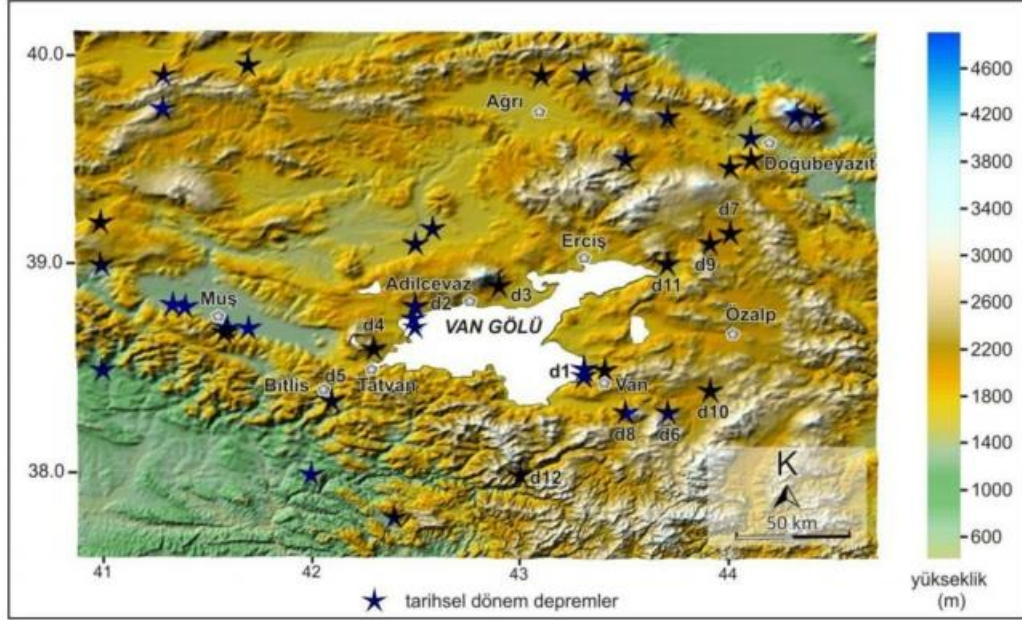
Çizelge 2. Van Gölü Havzasındaki tarihsel dönem depremleri (AFAD, 2019)

(Parantez içerisinde verilen rakamlar kaynak numaralarını göstermektedir: 2: Calvi (1941), 4: Plassard-Kogoş (1968), 5: Kondorskaya and Shebalin (1977), 8: Ergin vd., (1967), 13: Arıncı (1945), 16: Andreasyan (1970), 20: Öcal (1968), 21: Andreasyan (1973), 40: Karnik (1971); M: Büyüklük, I: Şiddet, H: Derinlik, R: Etki alanı yarıçapı)

Miladi	Yıl	Enlem	Boylam	Yer	Şiddet	Açıklama
MS	139	40.00	45.00	Aras Çukurluğu	VIII	H=15 km, M=5.7
MS	741	40.00	44.00	Ağrı yöresi	VII	M=4.5, H=10 km
MS	1012	39.00	43.00	Malazgirt	VII	
MS	1110	39.00	44.00	Van	VIII	I=IX (8), 1111 (8)
MS	1319	40.00	44.00	Ağrı Yöresi	VIII	M=6.2 (5), H=25 km (5)
MS	1363	39.00	42.00	Muş ve yöresi	VIII	I=VII (8), Pekçok ölü
MS	1439			Van, Bitlis, Muş	VI	Nemrut Dağı'nın volkanik etkinliğiyle birlikte deprem (2)
MS	1441	38.00	42.00	Van, Bitlis, Muş	VIII	I=X (20), 30.000 ölü (8, 2), Nemrut Dağı'nın volkanik etkinliğiyle birlikte deprem (2, 21)
MS	1582	38.00	42.00	Bitlis ve Çevresi	VIII	I=VII (8), 38.73N (8), 41.5E (8)
MS	1646	38.30	43.70	Van	VI	
MS	1647	39.15	44.00	Van, Tebriz, Muş, Bitlis	IX	02.04.1648 (16), 1646 (2), 1646 veya 1648 (8), 38.47N (8), 39.7N (5), 43.3E (8), 43.0E (5), I=VI (8, 5), M=3.8 (5), H=10 km (5)
MS	1648	38.00	44.00	Hoşap'ın batısı-Van	VIII	
MS	1685			Van	VI	
MS	1692			Van, Aras Çukuru		
MS	1696	39.10	43.90	Van	IX	M=7.1 (4)
MS	1701	39.00	43.00	Van	V	
MS	1701			Van ve yöresi	VII	
MS	1701	39.00	43.00	Van ve yöresi	VIII	R=300 km, 43,65 E (8)
MS	1704	39.00	43.00	Van	VII	
MS	1715	38.95	43.65	Van ve Erciş yöresi	VIII	M=6.7
MS	1791	39.00	43.70	Van, Erzurum ve Tebriz	VI	
MS	1841	40.00	44.00	Doğu Beyazıt-Ağrı	VII	39.4 N (5), 44.4 E (5), I=VI-VII (5), I=VI (8), M=4.9 (5), H=20 km (5), R=250 km
MS	1869	38.00	42.00	Bitlis ve yöresi	VI	
MS	1871	39.00	43.00	Van Yöresi (Bitlis, Muş, Nemrut)	VII	25.03.1871 (40), 05-25.03.1871 (20), M=5.5
MS	1871	40.00	43.00	Ağrı Yöresi	VIII	43.6E (5), I=VIII-IX (5), M=5.7 (5), H=7 km (5)
MS	1881	39.00	43.00	Van, Bitlis, Muş	IX	I=X (20), M=7.3 (20), Van'da 400 ev yıkılmış. Bu deprem 40, 20 ve 8 nolu kaynaklarda 30.05-07.06 tarihli iki deprem olarak veriliyor
MS	1884	38.00	43.00	Pervari	VIII	1884 (2, 8, 13), 38.4N (20, 40), 42.1E (20, 40), I=VI (8), M=6.1 (20)
MS	1892	39.15	42.51	Malazgirt	VII	1891 (8), I=VI (8), M=5.5 (20)
MS	1894	38.47	43.30	Van	V	
MS	1900	38.47	43.30	Van	VI	

Farklı araştırmacılar tarafından çeşitli özellikleri ve depremlerin oluşmasına etki eden faktörler, günümüzde halen araştırılmaya devam etmektedir. Bu faktörlerden

başlıcaları; tektonik gelişim, yapısal unsurlar, levha hareketleri, bölgeyi oluşturan kayaç yapısı ve bölgede egemen olan gerilme kuvvetleri ile bölgedeki egemen gerilme yönleri gibi özelliklerdir.



Şekil 4. Bölgede meydana gelmiş tarihsel deprem yerlerini gösteren sayısal yükseklik modeli (Tarihsel depremlerin etki alanı ve şiddet değerleri Çizelge 2’dedir. Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981; Ambressey ve Finkel, 2006; Tan vd., 2008).

1.3. Tektonizma

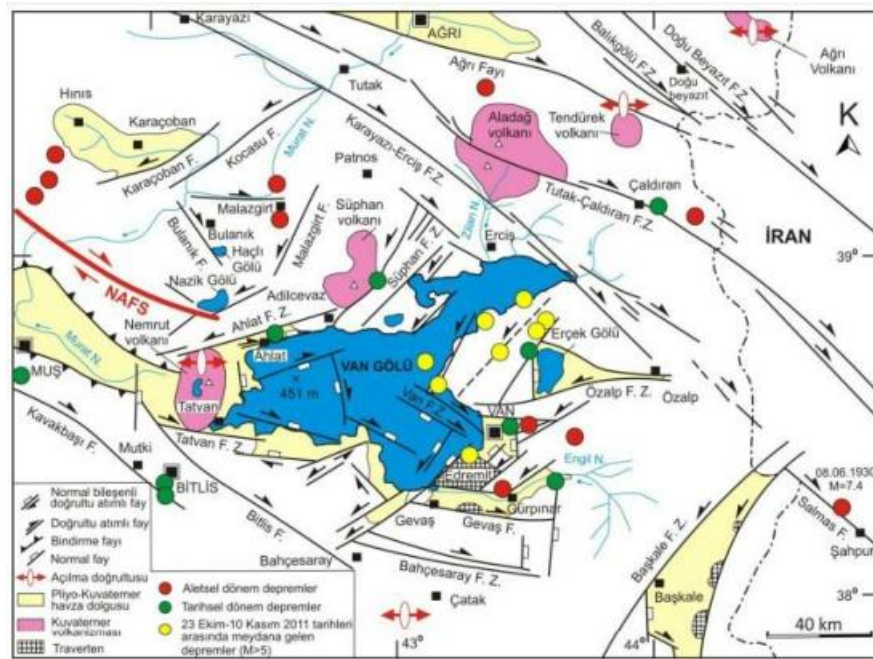
Sınırları içerisinde dünyanın en büyük soda gölü olan Van Gölü’nü bulunduran havza (Kempe vd., 1978), Geç Pliyosen’de oluşmuş ve Kuvaterner’de etkili olan volkanizma ile son şeklini almıştır (Blumenthal vd., 1964; Wong ve Finckh, 1978; Degens vd., 1984). Doğu Anadolu Platosu ve Van Gölü Havzası’nda yeni tektonik dönem Pliyo-Kuvaterner’de başlamaktadır (Şekil 5) (Koçyiğit vd., 2001).

Bu bölgenin zemini; göl, akarsu ve karasal çökellerin tekrarlanmasıyla oluşan gevşek özellikteki kum, çakıl, silt ve kil ardalanmasından oluşmuştur. Yapılan yerinde deneyler toprak zeminin gevşek özellikte, yeraltısuyu seviyesinin yüzeye yakın ve Van ovasını oluşturan gevşek özellikteki zeminin sismik hızlarının düşük olduğunu göstermektedir.

1.4. Depremsellik

Van Gölü Havzası, Arap plakasının kuzeye, Avrasya plakasına doğru yaklaşması sonucu geniş bir alanı etkileyen kuzey-güney yönlü sıkışma ve daralma

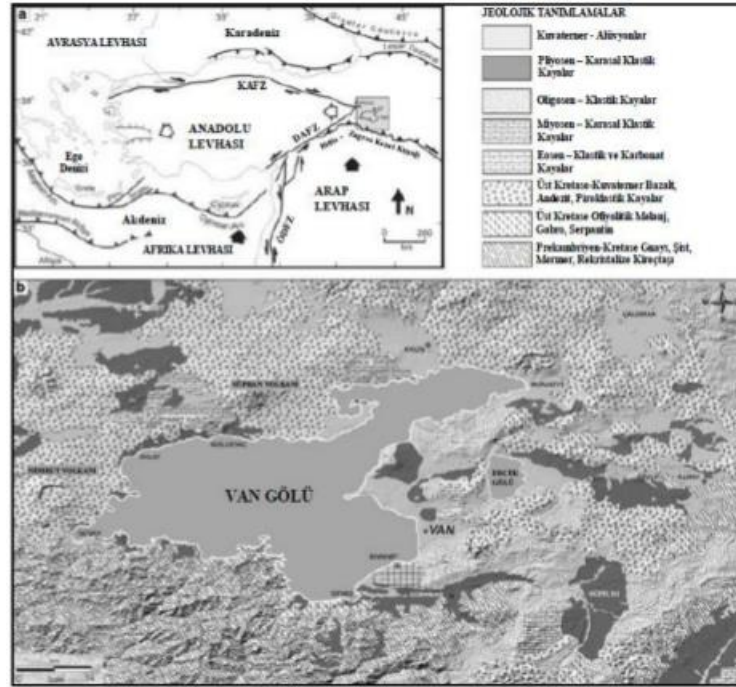
kuşağında yer almaktadır (Şekil 6.a) (Akansel vd., 2014). Bu sıkışma, genel olarak doğu-batı uzanımlı bindirme fayları ile kuzeybatı-güneydoğu sağ yönlü ve kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı sol yönlü doğrultu atımlı fayların oluşmasına neden olmuştur (Şekil 6.b). 23 Ekim 2011 tarihinde yaşanan depremin moment magnitüd büyüklüğü (M_w) 7.2'dir. Van depreminin merkez üssü bu sıkışma kuşağı içindedir. Deprem, Van Gölü'nün doğusunda ve şehir merkezinin kuzeyinde meydana gelmiştir. Bu tarihte meydana gelen Van Depreminden yaklaşık üç hafta sonra, 9 Kasım 2011 tarihinde, Van ili merkezinin güneyinde yer alan Edremit ilçesinde 5.6 (M_w) büyüklüğünde ikinci bir deprem daha yaşanmıştır. Yaşanan 2. deprem, 23 Ekim 2011 de yaşanan ilk depremden farklı bir fay sistemine sahiptir.



Şekil 5. Van Gölü ve yakın çevresinin sismotektonik haritası (Koçyiğit et al. 2001 ve Koçyiğit 2002'den değiştirilerek alınmıştır. NAFS: Kuzey Anadolu Fay Sistemi)

Bu bölgede daha önce de birçok maddi ve manevi hasara yol açan deprem meydana gelmiştir. Ambraseys and Jackson, (1998) 1646 yılında büyüklüğü yaklaşık (M_s) 7.0 ve üzeri bir depremin Van çevresini etkilediğini rapor etmiştir. Ayrıca 1976 (M_s) 7.3 Çaldıran depremi de Van ve çevresinde hasara yol açmıştır. Selçuk et al. (2010) ve Emre vd. (2012) tarafından da belirtildiği gibi, bölgenin deprem hareketini ve kontrolünü sağlayan en önemli fay yapısı "Van Fay zonu" diğer adıyla "Özalp Fay zonu"dur. Bu fay hattının mekanizması MTA'ya göre "bindirme" olarak kayıtlara geçmiştir. 30-40 km civarında uzunluğu bulunan bu fay, Van il merkezine yaklaşık 20

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

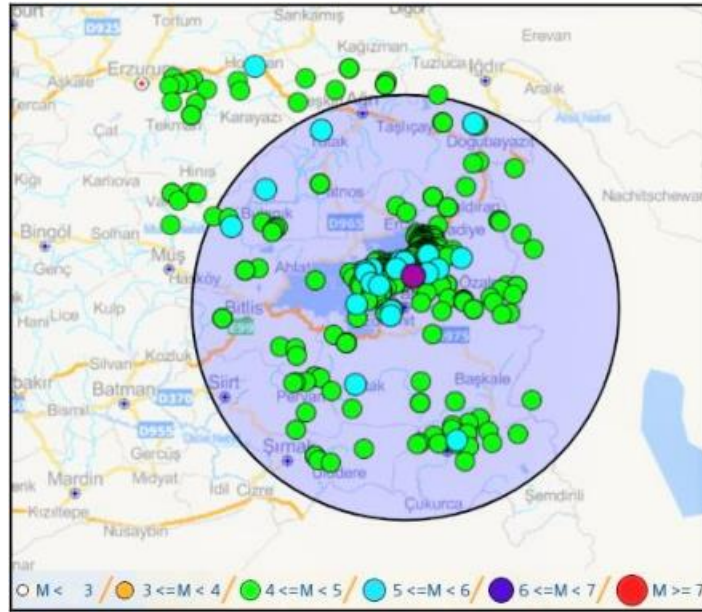


Şekil 6. a) Türkiye'nin basitleştirilmiş Tektonik Haritası (Şengör et al., 1985'ten değiştirilerek alınmıştır. ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu'nu göstermektedir. b) Van Gölü Havzası ve Çevresinin Jeoloji Haritası (Selçuk et al., 2010'dan değiştirilerek alınmıştır)

1900-2019 yılları arasında birçok yıkıcı ve tahripkâr deprem yaşanmıştır. Ayrıca, ülkemizde 1990-2019 yılları arasındaki 30 yıllık sürede, büyük ekonomik zarara ve çok sayıda can kaybına neden olan birçok deprem meydana gelmiştir. Van ilini merkez kabul ederek, Van Gölü Havzasında 150 km yarıçaplı alan içerisinde, 1991-2019 yılları arasında, magnitüdü 4'ten büyük ($4.0 \leq M$) olan 394 adet deprem meydana gelmiştir (AFAD, 2019) (Şekil 7; Çizelge 3). Bu durum, yaşadığımız Anadolu coğrafyasında depremlerin sürekli meydana geleceğinin güçlü bir göstergesidir. 1992-Erzincan, 1995-Dinar, 1998-Ceyhan, 1999-Kocaeli, 1999-Bolu-Düzce, 2002-Afyon, 2003-Tunceli, 2003-Bingöl, 2010-Elazığ, 2011-Van, 2012-Fethiye, 2017-Muğla, 2018-Adıyaman ve 2019-Denizli depremleri bunun çarpıcı örneklerinden bazılarıdır.

Düzensiz ve denetimsiz şehirleşmeye bağlı olarak, depremlerde açığa çıkan enerji, büyük hasarlara neden olabilmektedir. Çeşitli kurumlarca hazırlanan raporlara göre; 1992-Erzincan, 1999-Gölcük, 1999-Bolu-Düzce (Özmen 2000, USGS 2000, Erdik, 2000) ve 2011-Van depremleri vb. gibi Türkiye'de çok sayıda can kaybına neden

olan büyük depremler insanları ve yaşamı olumsuz etkilemiş ve büyük ekonomik zararlara yol açmıştır.



Şekil 7. Van Gölü Havzası (Van merkez) ve çevresinde 150 km yarıçaplı alanda 1991-2019 yılları arasında meydana gelen ve $4.0 \leq M$ olan depremler (AFAD 2019)

Çizelge 3. Van Gölü Havzası ve çevresindeki bazı önemli depremler (AFAD 2019)

No	Episandır Yeri	Tarih (g/a/y)	Episandır		Magnitüd	
			Enlem (K)	Boylam (D)	Ms	Mw
1	Varto	07.03.1966	39.10	41.40	6.2	6.2
2	Varto	19.08.1966	39.20	41.60	6.9	6.7
3	Karlıova	20.08.1966	39.30	41.16	6.3	6.3
4	Türkiye-İran Sınırı	29.04.1968	39.20	44.30	5.3	5.6
5	Lice	06.09.1975	38.47	40.72	6.7	6.5
6	Çaldıran	24.11.1976	39.10	44.00	7.3	7.0
7	Türkiye-İran Sınırı	26.05.1977	38.70	44.32	5.4	5.6
8	Varto	27.03.1982	39.23	41.90	5.1	5.5
9	Erzurum	30.10.1983	39.97	41.94	5.2	5.5
10	Gevaş	03.12.1984	37.97	43.15	5.7	5.9
11	Erzurum	07.11.1985	39.75	41.68	4.2	4.8
12	Çaldıran	20.04.1988	38.97	44.00	5.1	5.5
13	Gevaş	25.06.1988	38.44	43.08	5.0	5.5
14	Karlıova	13.04.1998	39.18	41.10	4.8	5.2
15	Horasan	03.12.1999	40.36	42.35	5.5	5.7
16	Gevaş	15.11.2000	38.30	42.92	5.4	5.5
17	Pasinler	10.07.2001	39.94	42.07	4.4	5.4
18	Bingöl	01.05.2003	39.01	40.46	6.4	6.4
19	Tercan	25.03.2004	39.93	40.81	5.4	5.6
20	Doğu Beyazıt	01.07.2004	39.65	43.83	4.8	5.1
21	Hakkari	25.01.2005	37.72	43.72	5.6	5.8
22	Karlıova	14.03.2005	39.35	40.89	5.7	5.8
23	Karlıova	06.06.2005	39.22	41.08	5.4	5.6
24	Karlıova	02.07.2006	39.49	40.78	4.9	5.0

Son 110 yıl içerisinde oluşan yaklaşık 160 depremde 100.000’den fazla kişi hayatını kaybetmiş, 200.000’den fazla kişi yaralanmış ve 600.000’den fazla bina ise yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Bu afetlerin ekonomiye verdiği zarar gayri safi milli hâsılanın % 5’ini geçmektedir (SPO 2000).

Depremleri sürekli yaşamak zorunda kalacağımız için depremin hasar etkisinden korunmak için tedbirler almak gerekmektedir. Bunun için projeler hazırlanmadan önce arazi ve laboratuvarı, yapının inşa edileceği proje alanına ait jeoteknik parametreler titizlikle elde edilmelidir. Yapılara etki eden deprem yükünün hesaplanmasında kullanılan; deprem enerjisi azalım bağıntısı veya sönüm denklemi olarak adlandırılan “deprem pik ivme değeri (PGA veya a)” bu parametrelerden bir tanesidir. Ancak, aktif bir deprem kuşağında olan ülkemiz gibi bir yerde, bu tür bazı jeoteknik/mühendislik özellikler ve/veya parametreler günümüze kadar yeterli olarak araştırılmamıştır.

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan sönüm denklemleri genellikle ülkemiz dışındaki yerlerde üretilmiş (ithal) sönüm denklemleridir. İthal sönüm denklemlerinin yanı sıra, ülkemizde oluşan depremlere ait kayıtların bir bölümü kullanılarak Türkiye için üretilmiş/önerilmiş az sayıda da olsa yerli sönüm denklemleri de bulunmaktadır. Ancak, ülkemiz için üretilmiş bazı yerli sönüm denklemleri, sismotektonik açıdan benzer bölgeler için türetilmiş sönüm denklemleriyle karşılaştırıldığında olduğundan büyük veya abartılı pik yer ivmesi değeri vermektedir.

Son yıllarda meydana gelen deprem verileri kullanılarak, ülkemizin jeolojik özelliklerine uygun azalım ilişkileri geliştirilmesi konusunda çalışılması önem arz etmektedir. Bu amaçla, 2011 yılında Van ilinde meydana gelen ve çevre illerden de hissedilen Ekim-2011: Van-Erciş ($M_s=7.0$) ve Kasım-2011: Van-Edremit ($M_L=5.6$) depremlerinden sonra, Van Gölü Havzası için bölgesel bir deprem enerjisi azalım bağıntısı geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Yerli azalım denklemlerinin oluşturulması sırasında birçok araştırmacı tarafından ağırlıklı olarak T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD-DDB)’nin kayıtları kullanılmıştır. Bu çalışmada da benzer olarak AFAD-DDB’nin deprem kayıtları güncel depremler dahil edilerek kullanılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Deprem insanlığın sürekli yaşamak zorunda kalacağı ve değiştiremeyeceği bir doğa olayıdır. Deprem hasar etkisini azaltmak veya hasardan korunmak olasıdır. Bunun yolu yapıların projelendirilmesinde, arazi ve laboratuvarlarda jeoteknik parametreleri 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 denklemidir. 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.

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 1976 yılından her bir çalışmanın yayınlandığı tarihe kadar ülkemizde oluşan depremlere ait kayıtların bir bölümü kullanılarak Türkiye için üretilmiş/önerilmiş (yerli) sönüm denklemleri de bulunmaktadır. Kayabalı (2002)'ye göre, İnan vd. (1996) azalım bağıntısı sismotektonik açıdan benzer bölgeler için türetilmiş sönüm denklemleriyle karşılaştırıldığında; olduğundan büyük veya abartılı pik yer ivmesi değeri vermektedir.

Yerli azalım denklemlerinin oluşturulması sırasında birçok araştırmacı tarafından ağırlıklı olarak T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (DDB)'nin kayıtları kullanılmıştır.

Araştırmacıların deprem kayıtlarını inceleme, değerlendirme ve yorumlama aşamalarına bir örnek olmak üzere Beyaz (2004) çalışması verilebilir. Beyaz (2004) çalışmasında, 1975-2003 yılları arasında, Türkiye'de meydana gelmiş bütün deprem kayıtlarını grafik çizimleriyle incelemiştir. Bu işlem sırasında magnitüd (büyüklük: M), ivme (PGA: a), mesafe (R: km), periyod (T) ve frekans (f) özelliklerini de incelemiştir. Bu çalışmada da benzer olarak AFAD-DDB'nin deprem kayıtları kullanılmıştır. Sönüm denklemi hazırlanması sırasında yerel zemin özelliklerinin de tanımlanması gerekmektedir. Bu işlem için eski adıyla; T.C. Başbakanlık Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı (DADB)'nin yayınladığı Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYHY 1997)'de tanımlanmış olan zemin

sınıflamasını kullanmıştır (Çizelge 4). Arazide deprem kayıt istasyonları yakınında açılan yaklaşık 100 m derinliğindeki sondaj kuyularında, yer yüzeyinden derine doğru değişen tabakalara ait çıkan kırıntılar yardımıyla, zemin tabakalarının litolojik tanımlaması yapılmıştır (Beyaz 2004). Herbir kuyuda, “kuyu aşağı” yöntemle kuyu içi sismik ölçümler yapılarak; her bir tabakanın P-dalgası iletim hızı (V_P) ve S-dalgası iletim hızı (V_S) değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, KYHK istasyonu zeminlerini oluşturan tabakların kalınlığı, litolojik bilgisi, V_s , vb. özellikleri kullanılarak ProShake programında “dekonvolüsyon” (ters evrişim) işlemi uygulanmış ve bu işlemle, zemin yüzeyine ulaşan deprem kayıtlarındaki zemin etkisi ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır (Beyaz 2004).

Çizelge 4. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1997)’te tanımlanan zemin grupları ve özellikleri

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penet. (N/30)	Rölatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	V_s (m/s)
A	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar	-	-	>1000	>1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl	>50	85-100	-	>700
	3. Sert kil ve siltli kil	>32	-	>400	>700
B	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar	-	-	500-1000	700-1000
	2. Sıkı kum, çakıl	30-50	65-85	-	400-700
	3. Çok katı kil ve siltli kil	16-32	-	200-400	300-700
C	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar	-	-	<500	400-700
	2. Orta sıkı kum, çakıl	10-30	35-65	-	200-400
	3. Katı kil ve siltli kil	8-16	-	100-200	200-300
D	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları	-	-	-	<200
	2. Gevşek kum	<10	<35	-	<200
	3. Yumuşak kil, siltli kil	<8	-	<100	<200

Dolayısıyla, Beyaz (2004) çalışmasında, zemin ortamlarda ölçülmüş bütün deprem kayıtlarını kaya ortam özelliklerine dönüştürerek kullanmıştır. Bu nedenle, önerdiği sönüm denklemi yardımıyla elde edilen pik yer ivmesi (PGA) değerinin, yerel zeminin büyütme katsayısıyla işleme tabi tutulması gerekmektedir. Bu işlemde sonra herhangi bir zemin ortamındaki gerçek PGA değeri belirlenmiş olacaktır.

Beyaz (2004) ve diğer araştırmacıların çalışmalarında kullandıkları yerel zemin sınıflama sistemi ve tanımlaması, “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1997)’te geçtiği biçimdir. Bu yönetmelik, 2006 ve 2007 yıllarında güncellenmiştir. “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2006 ve 2007)” adıyla yayınlanan bu düzenlemede, zeminlerin sınıflandırılması ile ilgili, 1997 yönetmeliğiyle kıyaslandığında, kayda değer bir değişiklik göze çarpmamaktadır.

Ancak, 18.03.2018 tarihli ve 30364 mükerrer sayılı Resmi Gazetede yayınlanan “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)’nin” ekinde yer alan “Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar’da” önceki/eski yönetmeliklere kıyasla önemli değişiklikler yapılmıştır. Bu yeni yönetmelik kapsamında, Eurocode-8 ölçütleri gözönüne alınarak; “zemin sınıflama ve tanımlamasında” köklü değişiklikler yapılmıştır (Çizelge 5).

Çizelge 5. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)’de tanımlanan zemin grupları ve özellikleri (18 Mart 2018 tarihli ve 30364 mükerrer sayılı Resmi Gazete’de yayınlanmış olup, 01 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir)

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killeri, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killeri, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killeri, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killeri.			

3. MATERYAL VE YÖNTEM

1975 yılı ile 2019 yılı arasında Van Gölü Havzası ve çevresinde meydana gelmiş, büyüklüğü 5.0 ve üzerinde olan ($5.0 \leq M_w$) deprem verileri, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD-DDB)'nin internet sitesinde araştırılmıştır. Bu özelliklerde olan toplam 249 deprem verisi tespit edilmiştir (EK-1). Bunlardan büyüklüğü 5.0 ve üzeri ($5.0 \leq M_w$) olan deprem kayıtlarından ivme değeri 10 cm/s² ve büyük ($10.0 \leq a_{max}$) olanlar çalışmada kullanılmak üzere derlenerek bir veri bankası oluşturulmuştur (EK-2).

Herbir deprem sırasında açığa çıkan enerjinin (diğer bir deyişle ivme değerinin) mesafeye bağlı azalımını tespit edebilmek amacıyla; herhangi bir depremi kaydeden bütün ivmeölçer istasyon kayıtlarından sınır şartları (M_w , a_{max} şartlarını) sağlayanlar, veri bankasına eklenerek, çalışmada kullanılmıştır.

İvmeölçer istasyonlar tarafından kaydedilen bütün deprem dosyaları (ivme kayıt dosyaları) incelenmiştir. Bu dosyalarda bazı yardımcı/tamamlayıcı bilgiler yer almaktadır. Bunlardan depremin episantır koordinatı ve istasyonun koordinatları kullanılarak: deprem episantırı ile istasyon arasındaki mesafe (km) hesaplanmıştır.

Deprem kayıt istasyonlarının zemin bilgileri araştırılmıştır. AFAD-DDB'nin internet sayfasında yayınlanmış olan bilgiler yardımıyla, istasyonların zemin sınıfı ve tanımlaması yapılmıştır. İstasyon zeminleri, bazen deprem kayıtlarının değişkenmesine etki edebilmektedir. Bu etkiye zemin büyütmesi adı verilmektedir.

Yer içinde meydana gelen sarsıntılar, yeryüzeyine ulaştığında deprem dalgaları olarak tanımlanmaktadır. Deprem kayıt istasyonlarına ilk ulaşan P-dalgalarıdır, boyuna (birincil - primer) dalgalar olarak adlandırılmaktadır. Katı ve sıvı ortamlarda hareket ettikleri kabul edilmektedir. Ancak, bunların yapılarda hasar oluşturduğu düşünülmemektedir. Yeryüzüne/kayıt istasyonlarına ikinci olarak ulaşan deprem dalgaları S-dalgalarıdır, enine (ikincil - seconder) dalgalar olarak adlandırılmaktadır. Bu dalga türü aynı zamanda yapılarda hasar oluşturan dalgalar olduğu için "kayma (kesme veya enine) dalgalar olarak da adlandırılmaktadır. Kayma dalgaları tanecik hareketine dik yönde ve sadece katı ortamlarda yayılırlar. Sıvı ve gaz ortamlarda yayılamadıkları kabul edilmektedir. Bu dalgaların katı ortamlardaki hızı 50-4000 m/s arasında değişmektedir.

Kesme - kayma dalga hızları, zeminin direncini yansıtan bir parametre olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle zemin sınıflamaları, kayma dalga hızına (V_s) bağlı

olarak yapılmaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018), USGS, Eurocode 8, NEHRP yönetmeliklerinde yapılan zemin sınıflamaları hep kesme/kayma dalga hızlarına göre yapılmıştır (Çizelge 4). Bu sınıflamalar yapılırken zeminin yüzeyden itibaren derine doğru ilk 30 metrelik kısmı için, jeofizik yöntemlerle yapılan kesme dalgası ölçümlerine ait değerler göz önüne alınmıştır. Zeminin 30 m derinliği için ölçülen kesme dalgası hızı V_{s-30} (veya $V_{s(30)}$) olarak sembolize edilmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018), USGS, Eurocode 8, NEHRP yönetmeliklerinde yapılan ölçümlere örnek verecek olunursa; $V_{s(30)}$ değeri 180 m/s'den küçük ise: zayıf zeminleri, 760 ya da 800 m/s'den büyük ise: kaya ortamları işaret ettiği kabul edilmektedir. Bina deprem yönetmeliklerinde kullanılan hızlar veya diğer hız aralıkları ile bunların temsil ettiği zemin/kaya ortam tanımlamaları aşağıda birkaç yönetmelik birarada-özet olarak sunulmuştur (Çizelge 4). Çizelge'da verilen $V_{s(30)}$ değerleri, arazide (yerinde/in-situ) yapılan jeofiziksel - sismik ölçümler sonucunda elde edilen kayma dalga hızlarının zemin yüzeyinden aşağı doğru 30 m derinliğe kadar olan ortalama değeri olarak kabul edilmektedir. Bu ölçüm değerleri, zemin sınıflamalarında veya bina deprem yönetmeliklerinde "bina kodlaması" olarak ifade edilen değerlerin belirlenmesinde önemli bir parametredir.

Çizelge 4. Çeşitli kuruluşlar tarafından önerilen zemin sınıflaması ve tanımlaması

Zemin Sınıfı*	Bu çalışmadaki veri sayısı**	V_s (m/s)			
		Türkiye Bina Depr. Yönetmeliği (TBDY 2018)	USGS Sınıflaması	Eurocode-8 (CEN 2011)	NEHRP sınıflaması (BSSC 2003)
ZA	-	> 1500	$V_{s,30m} > 750$	$V_{s,30m} > 800$	$V_{s,30m} > 1500$
ZB	-	760-1500	$360 < V_{s,30m} \leq 750$	$360 < V_{s,30m} \leq 800$	$760 < V_{s,30m} \leq 1500$
ZC	43	360-760	$180 < V_{s,30m} \leq 360$	$180 \leq V_{s,30m} \leq 360$	$360 < V_{s,30m} \leq 760$
ZD	156	180-360	$V_{s,30m} \leq 180$	$V_{s,30m} < 180$	$180 \leq V_{s,30m} \leq 360$
ZE	45	<180	-	Sahaya özel durumlar	$V_{s,30m} < 180$
ZF	-	Sahaya özel durumlar	-	(S ₁ and S ₂) Sahaya özel durumlar	(F) Sahaya özel durumlar

*: ZA: Sağlam, sert kayalar; ZB: Az ayrılmış, orta sağlam kayalar; ZC: Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar; ZD: Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları; ZE: Gevşek kum, çakıl veya yumuşak-katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 m'den daha kalın yumuşak kil tabakası ($C_u < 25$ kPa) içeren profiller; ZF: Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 m'den fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 m'den fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.

** : Her bir zemin türü için bu çalışmada kullanılan veri sayısıdır.

Zemin türlerinin sınıflandırılması, kesme dalgası (V_s : m/s) hızına göre yapılmaktadır. Çizelge 4'te de görüldüğü gibi birçok araştırma kuruluşu bu sınıflama için farklı koşulları/şartları gözönüne almaktadır. Bu çalışmada kullanılan deprem verilerinin alındığı ivmeölçer istasyonlarının zemin türleri, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte (TBDY 2018) belirtilen zemin tanımlamasına göre sınıflandırılmıştır.

Deprem dalgalarının ölçümünde, sayısal olarak tanımlanmasında ve hesaplamalarda kolaylık sağlaması açısından dalganın üç (3) ayrı yöndeki bileşenleri [yatayda: x-(**K**uzey-**G**üney) ve y-(**D**oğu-**B**atı) yönlerinde; düşeyde: z-(**Y**ukarı-**A**şağı) yönünde] kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla, [KG, DB, ve z (YA)] yönlerini ifade etmektedir. Deprem kayıt cihazlarının, deprem kayıtlarını/ölçümelerini bu yönlere uygun alabilmesi amacıyla, cihazlar bu yönlere koşut olarak yerleştirilmektedir-kurulmaktadır. Ölçümü yapılan deprem kaydının bileşenleri içerisinde en büyük yatay yer ivmesi (a veya PGA) değerleri hesaplamalarda kullanılmıştır. Van Gölü Havzasındaki ve çevresindeki deprem kayıt istasyonları çok sıkı zemin (ZC), orta sıkı zemin (ZD) ve gevşek/yumuşak zemin (ZE) özelliğindeki farklı alanlara kurulmuştur (Çizelge 4). Deprem kayıtları ivmeölçerin kurulu olduğu zemin türüne uygun olarak (C, D ve E) 3 (üç) ayrı veri dosyasına ayrılmıştır. Hesaplamalar ve istatistiki değerlendirmeler, bu veri dosyalarındaki özelliklere uygun olarak yapılmıştır.

Bölgedeki her bir farklı zemin sınıfını tanımlayacak bir denklem üzerinde çalışılmıştır. Hazırlanan sönüm denklemi, Türkiye'deki deprem kayıtları kullanılarak oluşturulmuştur. Yerli ve yabancı araştırmacıların türettiği deprem kayıtları kullanılarak oluşturulan azalım bağıntıları ile karşılaştırılmıştır.

Depremi neden olduğu hasarlarda, yerel zemin şartlarının (Kayabali, 1997), tasarım ve inşaat kusurlarının da etkisi söz konusudur. 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. Çeşitli araştırmacıların çalışmalarında ileri sürdükleri yöntemler kullanılarak hesaplamalar yapılabilmektedir. Buna istinaden Ulusay et al. (2004) ve Çeken (2007) kullanılarak Van il merkezindeki PGA hesaplanmıştır. Ulusay et al. (2004) tarafından önerilen denklemle hesaplanan pik yatay ivme değeri (PGA) 269 gal olarak bulunmaktadır. AFAD (2011) tarafından

hazırlanan Van Depremi Raporunda pik yatay yer ivmesi değeri (PGA), Çeken (2007) azalım bağıntısı kullanılarak 351 cm/sn^2 olarak hesaplandığı ifade edilmektedir.

Jeolojik açıdan oldukça karmaşık bir bölge olan Van Gölü havzasında meydana gelen son depremlere ait ivmeölçer kayıtları kullanılarak bölgeye özgü bir azalım bağıntısının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığının idaresindeki Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı (TR-KYH)'na ait ivmeölçerlerin kayıtları kullanılmıştır.

3.1. Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları

Çalışmada kullanılan ana materyal, değişik kurumlar tarafından ülkemizin değişik yerlerinde kaya ve zemin üzerine konuşlandırılmış kuvvetli yer hareketi kayıt (KYHK) cihazları tarafından derlenen verilerden oluşmaktadır.

Kuzey-güney (K-G), doğu-batı (D-B) ve düşey yönde kaydedilen zamana bağlı yer ivme değerlerinden sadece K-G ve D-B yönünde olanlar çalışmanın KYHK verilerini oluşturmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımına yönelik azalım bağıntısı geliştirmede düşey yer ivmesi genellikle ayrı değerlendirilmektedir.

Çalışmada kullanılan KYHK'ları, TC İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı'nın (DDB) derlediği verilerden oluşmaktadır.

AFAD-DDB'nin denetimindeki deprem kayıt (ivmeölçer) istasyonları tarafından 1976-2019 yılları arasında meydana gelmiş depremler içerisinde seçilen 141 depreme ait 212 ivme kayıt dosyası/verisi (K-G ve D-B yönlerindeki her iki yatay amaç değeri) çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir.

DDB kayıtlarında yer ivmesinin zamana bağlı değişiminin yanı sıra; deprem kayıt istasyonunun adı ve koordinatı, depremin oluş tarihi, saati, depremin koordinatı, magnitüdü, derinliği, deprem kaydının alındığı yön, pik ivme değeri, ivmeölçerin kayıt aralığı ve alınan toplam kayıt sayısı gibi bilgiler yer almaktadır.

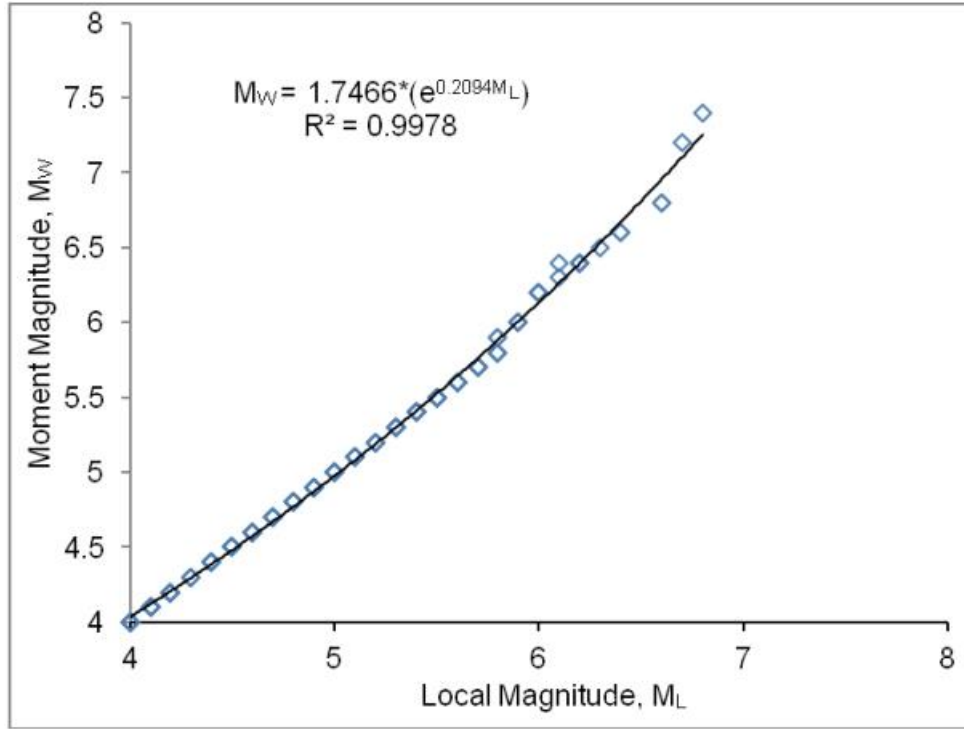
3.2. Sönüm Denkleminin Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan depremlerin büyüklükleri AFAD-DDB tarafından; yerel magnitüd (M_L), yüzey dalgası büyüklüğü (M_s), süre büyüklüğü (M_D) veya moment büyüklüğü (M_w) türünden tanımlanmıştır. Bu magnitüdlere hepsinin standart bir büyüklük türünden tanımlanması en doğru yöntemdir. Bu nedenle, doygunluk problemi olmayan moment magnitüdü (M_w) türüne dönüştürülmüştür. Bu amaçla, Beyaz

(2004)'ın çalışmasında kullandığı deprem verileri kullanılarak, yerel (lokal) magnitüd (M_L) değerleri ile moment magnitude değerleri korele edilmiştir. Bu işleme bağlı olarak; yerel büyüklükleri (M_L), moment büyüklüğü (M_w) türünde ifade edebilmek amacıyla bir dönüşüm bağıntısı hazırlanmıştır (Şekil 8).

Bu denklem yardımıyla, Van Gölü havzasında meydana gelen ve yerel büyüklük ölçeğinde tanımlanan depremler moment büyüklüğüne dönüştürülmüştür.

Yerli ve yabancı denklemlerde farklı mesafe parametreleri kullanılmaktadır ve mesafeleri standartlaştırmak kolay değildir (Kayabali ve Beyaz 2011). Bununla birlikte mesafeyi göz önüne almadan herhangi bir sönüm denklemini kullanarak, pik yer ivmesi hesaplanmasında marjinal hata(lar) ortaya çıkacaktır (Kayabali 2005).



Şekil 8. Türkiye depremleri için M_w ve M_L değerleri arasındaki korelasyon (R : korelasyon katsayısı)

Bu çalışmanın hazırlanması sırasında aşağıdaki yöntemler kullanılmış ve yapılan iş ve işlemler sırasıyla anlatılmıştır. Bunlar:

- Magnitüd dönüşümü,
- İstatistiksel işlemler,
- Regresyon ve korelasyon analizidir.

3.3. Deprem Magnitüd (Büyüklik) ölçekleri ve dönüşümleri

Bu çalışmada yer alan deprem verileri, Van gölü havzasının çeşitli yerlerine (kaya ve zemin üzerine) yerleştirilmiş KYHK istasyonları tarafından alınan/ölçülen deprem kayıtlarıdır. Bu verilerden magnitüdü 4.0 ve daha büyük ($M \leq 4.0$) olan deprem kayıtları tercih edilmiştir.

Deprem büyüklüğünün hesaplanmasında birbirinden farklı yöntemlere dayalı değişik ölçekler kullanılmaktadır. Bu ölçeklerin seçimi ve hesaplanması birbirinden farklı parametrelere bağlıdır. Bunlar sırasıyla; i) Deprem dalgasının hareket ettiği ortama, ii) Deprem dalgasının odaktan itibaren ölçüldüğü uzaklığa, iii) Depremin açığa çıkardığı enerjiye bağlı olarak kullanılan deprem büyüklük ölçekleri birbirinden farklı olarak seçilmektedir.

Geliştirilmiş farklı magnitüd ölçekleri içerisinde;

1) Richter yerel magnitüdü (M_L), 2) Yüzey dalgası magnitüdü (M_s), 3) Moment magnitüdü (M_w) ve 4) Süre magnitüdü (M_D) en çok kullanılanlar arasındadır.

Sönüm denklemi oluşturulması sırasında deprem büyüklüklerinin aynı ölçek sisteminde tanımlanmış olması gereklidir. Bu sebepten dolayı çalışmada kullanılacak depremler aynı büyüklük ölçeğine dönüştürülmüştür. Çeşitli korelasyon yöntemleri uygulanarak, hazırlanacak magnitüd dönüşüm bağıntıları/denklemiyle, M_L , M_s ve M_w magnitüd ölçeklerinin her üçünü de birbiri türünden ifade etmek (birbirine dönüştürmek) mümkündür.

3.4. İstatistiksel Çalışmalar/İşlemler

Literatürde, araştırmacılar tarafından, sönüm denklemi oluşturulması amaçlanan bölgelerde oluşan depremlere ait ivme değerleri (a : cm/s^2) ile deprem dış merkezi-kayıt istasyonu mesafesi (R : km) ve deprem büyüklüğü (M) gibi faktörler arasındaki ilişki irdelenmektedir. Bu işlem, istatistiksel yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. İstatistiksel hesaplamalarda kullanılan her bir faktör, bir değişken olarak kabul edilmektedir.

Uygulanacak istatistik değerlendirme yöntemine değişken sayısı dikkate alınarak karar verilmektedir. Sönüm denklemlerinde kullanılan değişken sayısı ikiden fazla (magnitüd, mesafe ve ivme) olduğundan, genelde çoklu regresyon analizi uygulanır.

Çoklu regresyon analizinin hesaplama işlemleri oldukça uzun zaman almakta ve dikkat gerektiren işlemler içermektedir. Hesaplama işlemleri sırasında çeşitli kontrol testleri uygulanması gerekmektedir. Her aşamada tekrar yapılması gereken işlemlerde

hata yapma ihtimali oldukça yüksektir. Bu nedenle istatistik işlemlerin yapılabilmesi için bilgisayar yazılımlarından birisinin kullanılması tercih edilmektedir. Günümüzde geliştirilen istatistik yazılımları içerisinde en çok tercih edilenlerden birisi SPSS programıdır. Benzer istatistiksel işlemler için farklı araştırmacılar tarafından güncel olarak geliştirilmiş başkaca programlar da kullanılabilir. Bunlar bir tanesi de Data Fit adlı bilgisayar paket programıdır.

SPSS, veri işletim sistemini kullanarak istatistik analizi gerçekleştirebilen windows tabanlı bir programdır.

SPSS programı kullanılarak işlenmesi hedeflenen veriler programın tanıdığı ve/veya kullandığı veri biçimine dönüştürülerek yeni veriler hesaplatılmakta ve elde edilen değerler yardımıyla istatistiksel işlemler gerçekleştirilmektedir. Girdilerin ve elde edilen sonuçların her aşamada grafikleri de çizdirilerek kontrol edilebilmesi ve gerektiğinde muhtemel hataların düzeltilebilmesi mümkündür.

Programın çalışması esnasında elde edilen değerlerin karşılaştırılması amacıyla Anova, F-testi ve t-testi gibi kontrol işlemleriyle doğrusallıktan ayrılış önem testleri yapılmaktadır.

3.5. Regresyon ve Korelasyon Analizi

Sönüm denklemi, kuvvetli yer hareketinin mesafeye bağlı etkisinin bir ifadesi olarak tanımlanır ve bu denklemin elde edilebilmesi için ise ilgili değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkinin saptanması gerekmektedir. Bu amaçla yapılan istatistiksel işlemlere de regresyon ve korelasyon analizi denilmektedir.

Bir olaya aynı anda etki eden değişik etmenler vardır ve bu etmenler, farklı özelliklerin ortaya çıkmasına sebep vermektedir. Bu tür farklı değişkenlerin arasındaki ilişkiler regresyon analizleriyle araştırılmaktadır. Regresyon analizinde bir bağımlı değişkene karşılık çok fazla sayıda bağımsız değişken işleme sokulabilmektedir. Regresyon analizi yapılacağı zaman değişken sayısı ikiden fazla olduğunda çoklu regresyon analizi yapılmak zorundadır. Çünkü çoklu regresyon analizinde, değişkenler arasındaki ilişkinin sayısal ifadesi olarak adlandırılan bağıntıları ve/veya denklemleri araştırılarak, bağımsız değişkenlerin tahmini ve önerilen model denklemindeki etkileri ile her bir bağımsız değişkenin katsayısı belirlenebilmektedir.

Regresyon analizinde kullanılan değişkenler: depremin magnitüdü, pik ivme ve deprem dış merkezi ile istasyon arasındaki mesafedir.

4. TEORİK YAKLAŞIMLAR

4.1. Azalım ilişkileri

Dünyanın değişik bölgeleri için birçok araştırmacı tarafından ivme azalım bağıntıları türetilmiştir. Türkiye’de de kullanılan azalım bağıntılarından bazıları: Campbell (1981), Joyner and Boore (1981), Joyner and Boore (1988), Campbell (1989), Fukushima and Tanaka (1990), Boore et al. (1997), Campbell (1997), Sadigh et al. (1997), Campbel and Bozorgnia (2003) tarafından üretilmiş olan denklemlerdir (Çizelge 5). Bu denklemler, Anadolu levhası dışında meydana gelmiş olan deprem kayıtları kullanılarak hazırlanmış ithal sönüm denklemleridir. İthal sönüm denklemlerinin birçoğunun hazırlanmasında/üretilmesinde kullanılan deprem kayıtları, Anadolu levhasının kabuk yapısını ve/veya özelliklerini temsil etmemektedir (Beyaz, 2004). İthal sönüm denklemlerinin çok azı, Anadolu levhasının özelliklerine şekil olarak benzeyen yerlerde üretilmiştir (Kayabali and Beyaz, 2011). Bunlardan birisi de San Andreas Fayı ve ona bağlı olarak üretilmiş olan sönüm denklemleridir. San Andreas Fayı (SAF) şekil olarak Kuzey Anadolu Fay Zonuna (KAFZ) benzetilmektedir.

Çizelge 5. Türkiye için sismik tehlike analizlerinde en sık kullanılan ithal deprem enerjisi azalım bağıntıları

Yabancı Araştırmacıların Sönüm Denklemleri	σ	Araştırmacı(lar)
$\log A = -1.562 + (0.306 * M) - (\log(R_2 + 33.6))^{0.5}$	0.173	Sabetta and Pugliese (1987)
$\log A = -3.303 + (0.85 * M) - 1.25 * \ln(R + 0.0872 * e^{0.678 * M} + 0.0059 * R)$	0.30	Campbell (1988)
$\log A = 0.43 + (0.23(M - 6) - \log(R) - 0.0027R)$	0.26	Joyner and Boore (1988)
$\log A = (0.41 * M) - \log(R + 0.032 * 100.41 * M - (0.0034 * R)) + 1.30$	0.21	Fukushima and Tanaka (1990)

Türkiye için üretilen yerli azalım bağıntılarından bazıları Gülkan and Kalkan (2002); Özbey et al. (2003); Ulusay et al. (2004); Beyaz (2004); Çeken (2007) and Kayabali and Beyaz (2011) denklemleridir.

Özbey et al. (2003)’in denklemleri Marmara bölgesinde meydana gelmiş deprem kayıtları ile elde edildiği için sadece o bölgede (kuzeybatı Türkiye için) kullanılması tavsiye edilmektedir (Çeken, 2007).

4.1.1. Azalım ilişkilerinde kullanılan parametreler

Mühendislik dallarından deprem ve depremin etkisiyle ilgilenen bölümler için, depremlerin belirli bir lokasyondaki tesirlerinin değerlendirilmesi, kuvvetli yer hareketinin nesnel ve nicel yollardan tanımlanması gerekmektedir. Sismoloji hariç diğer

mühendislik dallarının birçoğu kuvvetli yer hareketiyle ilgilenmektedir. Kuvvetli yer hareketi parametreleri içinde de en çok tercih edileni, ivmenin zamana bağlı değişim parametresi ve dolayısıyla depremin ivme kaydıdır. Bu tür bir yer hareketi kaydı genlik, frekans ve deprem hareketinin süresi gibi çok sayıda ek bilgiyi de kapsamaktadır. Kuvvetli yer hareketinin kaydedilmesi deprem mühendisliği için temel işlem aşamasıdır. Depremlerin oluşturduğu yer sarsıntılarına dair bilgileri elde etmeden tehlikeleri gerçekçi bir şekilde değerlendirmek veya uygun sismik tasarım yöntemleri geliştirmek mümkün değildir (Kramer 1996).

Çeşitli yer hareketi kayıtlarını/ölçümlerini sismograf ve/veya akselerograflar yapmaktadır. Sismograflar, genellikle zayıf yer hareketini ölçer, aldığı kayıtlara sismogram denir. Akselerograflar (akselerometre) ise kuvvetli yer hareketlerini ölçer ve kayıtlarına da akselerogram denir. Akselerograflar üç yönde kayıt alır ve alınan bu kayıt bileşenleri kullanılarak herhangi bir yöndeki ivme değeri hesaplanabilir.

Bir sismograf veya akselerografin önemli bileşenlerinden biri, hassas bir saattir. Günümüzün modern cihazları yer hareketi verilerini zaman ayarlarıyla birlikte kaydederler. Dünyada en yaygın kullanılan zaman tabanı, Evrensel Koordineli Zaman (EKZ)'dir (Greenwich Ortalama Zamanı'nın bilimsel eşdeğeri). Bütün deprem kayıt cihazları EKZ özelliğini günlük olarak kalibre etmektedir.

Akselerograflar yeni teknolojik gelişmeler sonucunda, saniyede 200'den fazla kayıt alabilmektedir. Fakat akselerografların ölçtükleri hareketi etkileyen aletin kendine özgü dinamik tepki özellikleri veya alet tepkisi bulunmaktadır. Kuvvetli yer hareketi verilerinde, alet tepkisi düzeltilmesi yapılması gereklidir.

Yer hareketi ölçümü yapan bütün cihazlar deprem dışındaki sarsıntıları da kaydederler. Arzu edilmeyen bu kayıtların önüne geçebilmek amacıyla, belirli bir eşik değeri belirlenir ve cihazların o değer üzerindeki sarsıntıları kaydetmesi hedeflenir. Bu sebeple kayıtlar bu eşik düzeyi kadar hata içerebilir. Deprem kayıtlarının işlenmesi sırasında bu hatanın düzeltilmesine özen gösterilmelidir. Temel çizgisi düzeltilmesi olarak adlandırılan bu tür düzeltmeler günümüzde yüksek geçişli süzgeçler veya modern veri işleme teknikleriyle yapılmaktadır (Joyner and Boore 1988, Kramer 1996).

Deprem yer hareketlerinin çok karmaşık olmasından kaynaklı, önemli yer hareketi özelliklerinin tamamını doğru bir şekilde tanımlayan yalnızca bir parametrenin ortaya konması mümkün değildir (Jennigs 1985, Joyner and Boore 1988). Bir yer hareketini tanımlayabilmek için genellikle zaman kayıtlarına başvurulmaktadır. Bu kayıtlarda ölçülen parametreler; ivme, hız veya yer değildir. Bu kayıtlardan sadece

biri ölçülür; diğer ikisi ise integral ve/veya türev alma yoluyla hesaplanabilir. İvme, hız ve yer değiştirmenin zamana göre kayıtlarında, baskın frekanslarında farklılıklar gözlenebilmektedir. İvme-zaman kayıtları nispeten yüksek frekanslar içerebilmektedir.

Pik yatay ivme (PHA), belirli bir yer hareketinin genliğini belirlemede en yaygın kullanılan ivme değeridir. Bir hareket bileşeni için PHA, çok basit olarak o bileşenin akselerogramından elde edilen yatay ivme değerinin -mutlak değer olarak- en büyüğüdür.

Yapı projelerinde, yer hareketini tanımlamada genellikle yatay ivmeler kullanılmaktadır. Nadiren, düşey ivme bileşeni de kullanılmaktadır. Deprem esnasında bazı yapılara etki eden dinamik kuvvetler PHA etkisiyle oluşan etkilerdir. PHA değerlerinin elde edilemediği durumlarda; şiddet verileri kullanılarak PHA tahmin etmek mümkündür (Trifunac and Brady 1975). Fakat bu yöntem çok tutarlı ve sağlıklı değildir (Kramer 1996).

Yatay ivmeler, deprem mühendisliğinde düşey ivmelere oranla daha çok tercih edilmektedir. Bunun nedeni ise yapılarda yerçekiminin neden olduğu statik düşey kuvvetlerin, deprem esnasında düşey ivmelerin neden olduğu dinamik kuvvetlere karşı emniyet payının yüksek olmasından kaynaklıdır.

Mühendislik tasarımlarında pik düşey ivme (PVA) genellikle PHA'nın üçte ikisi kadar kabul edilmektedir (Newmark and Hall, 1982). Fakat son dönemlerde yapılan gözlemler PVA'nın PHA'ya oranının oldukça değişken olduğunu; orta ve büyük ölçekteki deprem kaynaklarının yakınında bu oranın üçte ikiden büyük, daha uzak mesafelerde ise üçte ikiden küçük olduğunu bizlere göstermiştir (Campbell 1985; Abrahamson and Litehiser 1989). Bu sebeplerden dolayı sönüm denklemleri oluşturulmasında pik yatay yer ivmesi daha çok tercih edilmektedir (Peng et al. 1985a, Peng et al. 1985b, Ambraseys and Bommer 1991, Dahle et al. 1995, Sadigh and Egan 1998, Ambraseys and Douglas 2000).

Yüksek pik ivmeler çok kısa sürdüklerinde, yapılarda oluşturduğu hasar minimum düzeyde kalabilmektedir. Pik ivmeler çok yüksek frekanslarda oluştuğundan ve deprem süresi de uzun olmadığından, çok sayıda deprem 0,5 g'den daha büyük pik ivmeler ürettiği halde yapılarda önemli bir hasara yol açmamıştır (Kramer 1996).

Pik ivme çok yararlı bir parametredir. Ancak, hareketin frekansı ve süresi hakkında herhangi bir bilgi vermez. Bir yer hareketini doğru şekilde tanımlaması için ek bilgiler verilerek kullanılması daha doğru bir yaklaşımdır.

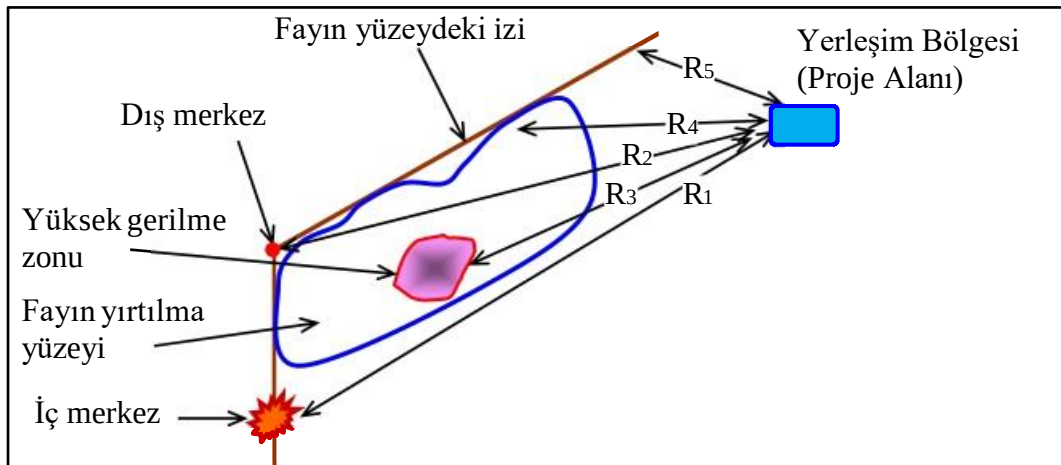
Depremın pik yatay hızı (PHV), yer hareketi genliğinin tanımlanmasında bir diğer önemli parametredir. Hız, yer hareketinin yüksek frekans içeriğine daha az duyarlı olduğu için, orta frekanslardaki yer hareketi genliğini belirlemede PHV, PHA'ya göre daha güvenilirdir.

Bir diğer önemli yer hareketi parametresi, “pik yer değiştirme”dir. Pik yer değiştirme, bir deprem hareketinin genellikle düşük frekanslı bileşenleri ile ilişkilidir. Fakat süzgeçleme ve akselerogramların integrali sırasındaki sinyal hesaplama hataları ve uzun periyodlu gürültü nedeniyle, doğru şekilde tanımlanmaları zordur (Campbell 1985, Joyner and Boore 1988). Bu nedenle pik yer değiştirme, pik ivme veya pik hızla göre daha az tercih edilmektedir.

4.1.2. Azalım ilişkilerinin geliştirilmesi

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

$Y=f(M, R, P_i)$ Y: bulunması arzu edilen yer hareketi parametresi,
 M: depremin büyüklüğü,
 R: kaynaktan proje alanına olan uzaklık (km) (Şekil 9) ve
 P_i: deprem kaynağını, dalga yayılma izini ve yerel arazi şartlarını tanımlamada kullanılan diğer parametreleri ifade eder.



Şekil 9. Kuvvetli hareket azalım ilişkilerinde kullanılan değişik uzaklık ölçütleri (Shakal and Bernreuter 1981; Beyaz 2004'ten değiştirilerek alınmıştır)

Azalım ilişkileri, kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi veri tabanlarındaki bilgiler kullanılarak yapılan regresyon analizleri yoluyla geliştirilir. Zaman içinde daha fazla kuvvetli yer hareketi verisi toplandıkça, güncellenirler. Literatürdeki çoğu azalım

ilişkisi, her 3-5 yılda bir veya iyi bir ölçüm ağına sahip bölgelerde büyük depremlerden sonra güncellenmektedir (Campbell 1981, Joyner and Boore 1981, Sabetta and Pugliese 1987, Joyner and Boore 1988; Campbell 1989, Ambraseys 1990, Ambraseys 1995; Campbell 1997; Sabetta and Pugliese 1996 vb. gibi).

Azalım ilişkilerinin fonksiyonel şekli, genellikle yer hareketi sürecinin mekaniğini olabildiğince yakın olarak yansıtabilecek şekilde seçilmektedir. Bu yaklaşım sayesinde ampirik katsayıların sayısı azaltılmakta ve azalım ilişkilerinin veri tabanında kötü bir şekilde temsil edilmiş magnitüd ve mesafe gibi şartlara uygulanması daha büyük bir güvenle yapılmaktadır. Azalım ilişkilerinin en çok karşılaşılan şekilleri aşağıdaki gözlemlere ve/veya bilgilere dayanmaktadır:

1. Kuvvetli yer hareketi (KYH) parametrelerinin pik değerleri yaklaşık olarak log-normal dağılım gösterir (yani, parametrelerin logaritması yaklaşık olarak normal dağılım gösterir). Sonuçta regresyon analizi, Y 'nin kendisi üzerinde değil de logaritması üzerinde yapılır (Chiaruttini and Siro 1981, McCue *et al.* 1988, Theodulidis and Papazachos 1992, Sadigh *et al.* 1993, Campbell and Bozorgnia 2003).

2. Deprem magnitüdü tipik olarak belirli bir pik hareket parametresinin logaritması olarak tanımlanır. Buna göre; LogY ile magnitüd (M) arasında pozitif ve doğru orantılı ilişki olmalıdır (Ambraseys and Simpson 1996, Youngs *et al.* 1988, Campbell 1989).

3. Gerilme dalgalarının deprem kaynağından dışarı doğru uzaklaşırken yayılmaları, cisim dalgası (P ve S dalgaları) genliklerinin $1/R$ 'ye göre azalmasına ve yüzey dalgası (başlıca Rayleigh dalgası) genliklerinin de $1/\sqrt{R}$ 'ye göre azalmasına neden olmaktadır (Bolt and Abrahamson 1982).

4. Gerilme dalgalarıyla taşınan deprem enerjisinin bir kısmı, deprem dış merkezinden itibaren kat ettiği yol üzerinde karşılaştığı malzemelerce soğurulmaktadır (cisim/ortam sönümlemesi). Bu cisim sönümlemesi yer hareketi genliklerinin mesafe (R)'ye göre üssel olarak azalmasına etki eder.

5. Fay yırtılmasıyla oluşan alanın büyüklüğü, deprem büyüklüğü ile birlikte artar. Bir proje ortamında kuvvetli hareket üreten dalgaların bir kısmı R mesafesinden gelirken bir kısmı da daha büyük uzaklıklardan gelir. Bu nedenle, etkin uzaklık R 'den daha büyüktür ve aradaki oran depremin büyüklüğüne paralel olarak artar.

6. Yer hareketi parametreleri, doğrultu atımlı, normal veya ters faylanma gibi kaynak karakteristiklerinden (Youngs *et al.* 1997, Sadigh *et al.* 1993, Ambraseys and Douglas 2000) ve sert kaya, yumuşak kaya, alüvyon vb. proje sahası özelliklerinden

etkilenebilir (Dahle *et al.* 1995, Ambraseys and Simpson 1996, Sadigh and Egan 1998, Zaré *et al.* 1999).

Herhangi bir azalım ilişkisi kullanılırken M (magnitüd) ve R (mesafe) gibi parametrelerin nasıl tanımlandığını bilmek ve bunları tutarlı bir şekilde kullanmak çok önemlidir. Farklı azalım ilişkilerinin genellikle farklı veri gruplarından elde edildiğini unutmamak da önemlidir. Yer hareketi parametrelerini makul bir şekilde kestirebilmek için, onunla ilişkili şartlarla tutarlı verilere dayalı bir tahmini hesaplama bağıntısına ihtiyaç vardır.

Azalım ilişkisiyle verilen yer hareketi parametresinin değerindeki belirsizliği ifade eden $\sigma_{\ln Y}$ değeri, belirli bir magnitüd ve uzaklıktaki standart sapmayı temsil eder. Sönüm denklemi çalışmalarının yapıldığı ilk yıllardaki gözlemlere göre; $\sigma_{\ln Y}$ 'nin değerleri çoğunlukla sabit kabul edilirken, son dönemde geliştirilen -güncel- azalım ilişkilerinde $\sigma_{\ln Y}$ 'nin değerinin magnitüd ile değiştiği ifade edilmektedir.

Bu nedenle, belirli bir magnitüd değerinde yer hareketi parametresinin Y^* değerini aşma ihtimali:

$$1-F_z(z^*) \text{ olacaktır.}$$

Burada, $F_z(z^*)$: $z^*=(\ln Y^* - \overline{\ln Y})/\sigma_{\ln Y}$ 'deki standart kümülatif dağılımın bir fonksiyonudur (Kramer 1996).

4.2. Magnitüd Ölçekleri ve Dönüşüm Bağıntıları

4.2.1. Deprem büyüklüğü (magnitüdü)

Depremler yer altındaki kırıklarla, faylarla bağlantılıdır. Bu kırıklar genellikle, yeryüzünün km'lerce altında yer almaktadır. Deprem kırıkları genel olarak büyüklüğü yüksek ($6,0 \leq M$ olan) sarsıntılardan sonra yeryüzeyinde görülmektedir ve derinde oluşan kırığı gözle görmek kolay değildir.

Yer altındaki kırıkların genişliği dolaylı yollarla belirlenebilir. Deprem kırıkları gözle görülmesede, hissettirdiği etkileri yorumlayarak depremin büyüklüğü tahmin edilebilir.

Deprem sarsıntıları etkisiyle yer kabuğunda dalgalar oluşmaktadır ve bu dalgalar da sismometre aracılığıyla ölçülebilmektedir. Deprem merkezinin doğru bir şekilde belirlenmesi, deprem büyüklüğünün hesaplanmasında güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar. Deprem anında oluşan dalgaların genliği, kaynağın merkezinden uzaklaştıkça yavaş yavaş azalır. Bundan dolayı, dalgaların genliğini yorumlarken onun ne kadar uzaktan geldiğini bilmek önemlidir.

Dünyayı çevreleyen kabuk; farklı katmanlar, kıvrımlar gibi birçok jeolojik oluşumun bir arada bulunduğu çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Yer kabuğunda bulunan, jeolojik oluşumların birbirinden farklı özellikleri nedeniyle, deprem anında ortaya çıkan dalgaların yayılma yönlerinde değişiklik olabilir. Böyle bir durumda dalgaların yapısı bozulabilir ve hesaplamalardaki hata payını arttırabilir. Oluşabilecek bu hataların önüne geçebilmek adına oldukça fazla sayıda sismometre verisi kullanmak gerekmektedir.

Deprem büyüklüğünün elde edilen parametreler yardımıyla hesaplanabilmesi için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler, depremin büyüklüğü ve uzaklığına göre deprem dalgalarında yaşanan değişimleri kullanır. Depremin büyüklüğü hesaplanırken, mesafeye ve depremin büyüklük aralığına göre ölçeklendirilmiş yöntemlerden en uygun olanının seçilerek kullanılması gerekmektedir. Belirli bir yöntem belirli bir büyüklük aralığında ve belirli bir uzaklıktaki deprem için geçerliken, farklı büyüklük ve farklı uzaklıktaki bir deprem için daha farklı bir yöntemi kullanmak gerekir. Birbirinden farklı dalga özelliklerine göre geliştirilmiş yöntemler aynı deprem için uygulandığında, farklı değerler elde edilebilir. Deprem büyüklüğü için yapılacak en anlamlı tanımlama, depremin büyüklüğü ve dış merkez uzaklığını dikkate alarak geliştirilmiş uygun bir yöntemin kullanılmasıyla elde edilen sonuçtur.

Yer sarsıntısının, sismik cihazlarla ölçülen bazı özelliklerine bakılarak tanımlanmasına magnitüd (büyüklük) denir (Richter 1958, Kramer 1996). Bir depremin büyüklüğünün (M) yaklaşık değeri aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır (Båth 1973):

$$M = \log a + c_1 \log \Delta + c_2 \quad (1)$$

Burada; M: depremin büyüklüğü, a: Rayleigh yüzey dalgasının yatay bileşeninin genliği, Δ : depremin odak mesafesi (derece olarak), c_1 ve c_2 : sabit katsayılardır.

Bir depremin farklı ortam özelliklerine ve dış merkezden uzaklığına bağlı olarak meydana getirdiği birbirinden farklı davranış özellikleri vardır. Farklı büyüklük tanımlamaları, bu özelliklerine göre yapılmaktadır. Geçmişten günümüze kadar, magnitüdle ilgili çok sayıda tanımlama yapılmıştır. Bu tanımlarmalar, aşağıdaki gibidir:

4.2.2. Richter yerel magnitüdü (M_L)

Richter (1935), deprem dışmerkezinden 100 km uzaktaki bir Wood-Anderson sismometresinde (mikron cinsinden) kaydedilmiş maksimum genliğin (10 tabanına göre) logaritmasını yerel (lokal) magnitüd (M_L) olarak tanımlamıştır (Richter 1958,

Båth 1973). Bu tanımlama, $M < 6,0$ ve 600 km'den daha az mesafedeki depremlerin büyüklüğünü belirlemek amacıyla kullanılır. Richter yerel magnitüdü (M_L) çok fazla tercih edilmesine rağmen, deprem büyüklüğünü belirlemede her zaman için uygun bir ölçek değildir (Kramer 1996). $M < 6,0$ 'dan daha büyük depremleri tam olarak tanımlayamamaktadır. Bu duruma doygunluk problemi adı verilmektedir.

4.2.3. Yüzey dalgası magnitüdü (M_s)

600-2000 km arası mesafelerde özellikle cisim dalgaları sönümlenmekte ve saçılmaktadır. Richter yerel magnitüdü, dalga türleri arasında bir ayrım yapmamaktadır ve bu yüzden farklı bir büyüklük tanımlama ölçeğine ihtiyaç duyulmuştur. Uzak mesafelerde yüzey dalgaları daha baskındır. Gutenberg and Richter (1936) tarafından, 70 km'den daha az derinlikte oluşan sığ depremlerin ürettiği, periyodu yaklaşık olarak 20 saniye olan ve normal (üç bileşenli) sismograflarla kaydedilen Rayleigh dalgalarının yatay bileşenlerinin mikron cinsinden en büyük değerinin logaritması alınarak “yüzey dalgası magnitüdü” tanımlanmıştır (Richter 1958).

Gutenberg (1945a, 1945b) daha sonra yüzey dalgası magnitüdü ile ilgili çalışmalar yapmıştır (Bayrak ve Yılmaztürk 1999). Yüzey dalgaları, yeryüzünde kaynaktan itibaren çok uzak mesafelere yayılabildiği için; uzak mesafelerde yapılan ölçümlerde daha güvenilir ve hassastır. Yüzey dalgası magnitüdü yaygın olarak kullanılan ölçeklerden birisidir ve $M \geq 6,0$ olan (bazı araştırmacılara göre $M \geq 5,5$ olan) depremleri ölçmek için geliştirilmiştir. Yüzey dalgasını kullanarak magnitüd hesabı aşağıdaki denklem yardımıyla yapılmaktadır (Båth 1973):

$$M = \log \frac{a}{T} + 1.66 \log \Delta_0 + 3.3 \quad (T=20 \text{ s için}) \quad (2)$$

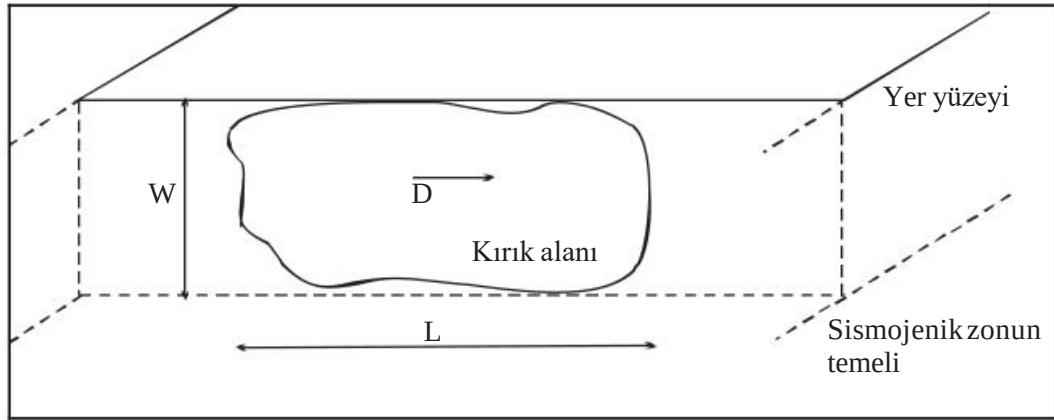
Burada; M: depremin büyüklüğü, a: Rayleigh yüzey dalgasının yatay bileşeninin genliği, T: periyot (10-30 s aralığında), Δ_0 : depremin odak mesafesi (derece olarak)'dır.

4.2.4. Moment magnitüdü (M_w)

İlk iki magnitüd türü, çeşitli cihazların kaydettiği yer sarsıntılarının genliklerin büyüklük ölçeğindeki matematiksel ifadesidir. Depremin etkisiyle oluşan bir fayın büyüklüğü depremde açığa çıkan enerjiyle, dolayısıyla depremin büyüklüğü ile ilişkilidir. 1960-San Francisco ve 1960-Şili depremlerinde de görüldüğü üzere, deprem anında açığa çıkan enerji miktarı artarken yer sarsıntısının özellikleri her zaman aynı oranda artmamakta veya cihaz ölçümlerine birebir yansımamaktadır (Coduto 1998). Her

iki depremin yüzey dalgası magnitüdü (M_s) 8.3 olarak hesaplanmasına rağmen, yüzey kırıklarının boyutları birbirinden farklı olmuş (Şili depremi, San Francisco depreminden daha büyük bir kırılma oluşturmuş) dolayısıyla açığa çıkan enerji miktarı da farklı olmuştur. Açığa çıkan enerji miktarına göre moment büyüklükleri (M_w) hesaplandığında; San Francisco depreminde $M_w=7.9$, Şili depreminde $M_w=9.5$ olarak bulunmuştur (Boore 1977). Bu örnekte olduğu gibi depremlerde bazı magnitüd türleri açığa çıkan enerjiyi tam olarak yansıtamaz. Bu duruma magnitüd doygunluğu adı verilmektedir. Richter yerel magnitüdü, 6.0'dan büyük depremlerde; yüzey dalgası magnitüdü, 7.0'den büyük depremlerde doygunluğa ulaşmaktadır (Kramer 1996).

Çok büyük depremlerin boyutunu tanımlamak için, yer sarsıntısı özelliklerine dayalı olmayan ve sonuçta doygunluğa ulaşmayan bir büyüklük ölçeğinin tanımlanması gereklidir (Kanamori 1977, Hanks and Kanamori 1979). Doymunluk problemi olmayan tek magnitüd ölçeği moment magnitüdüdür (Kramer 1996). Moment magnitüdü kullanımı son yıllarda artmış ve yaygınlaşmıştır. Moment magnitüdü fayın boyut ları ile ilişkilidir (Şekil 10). Moment magnitüdü, günümüzde mühendislik yapılarının hasar analizlerinde sıkça kullanılan; azalım ilişkilerinin oluşturulmasında, şiddet dağılımlarının kestirilmesi gibi çalışmalarda kullanılan önemli bir veridir.



Şekil 10. Moment magnitüdü ile fay modeli arasındaki ilişki

Fay ortamı, sismik moment ve moment magnitüdü sırasıyla aşağıda verilen bağıntılarla hesaplanır (Kanamori and Anderson 1975, Kramer 1996).

$$A = L * W \quad (3)$$

$$M_0 = A * \mu * D, \quad (\mu = 3 * 10^{11}) \quad (4)$$

$$M_w = (3/2 * \log M_0) - 10.73 \quad (5)$$

Burada; D: fayın hareket miktarı (cm), μ : rijitlik modülü (dyne/cm²), A: fay yüzeyi (düzlemsel) ortamı (cm²), L: yüzey kırığının uzunluğu (km), W: kırılma derinliği (km), M₀: sismik moment (dyne.cm), M_w: moment magnitüdünü (birimsiz) ifade etmektedir.

Yukarıdaki bağıntı, elde edilen yeni bulguların ışığında $M_w = (2/3) \log M_0 - 10.67$ şeklinde hesaplanmaya başlanmıştır (Hanks and Kanamori 1979).

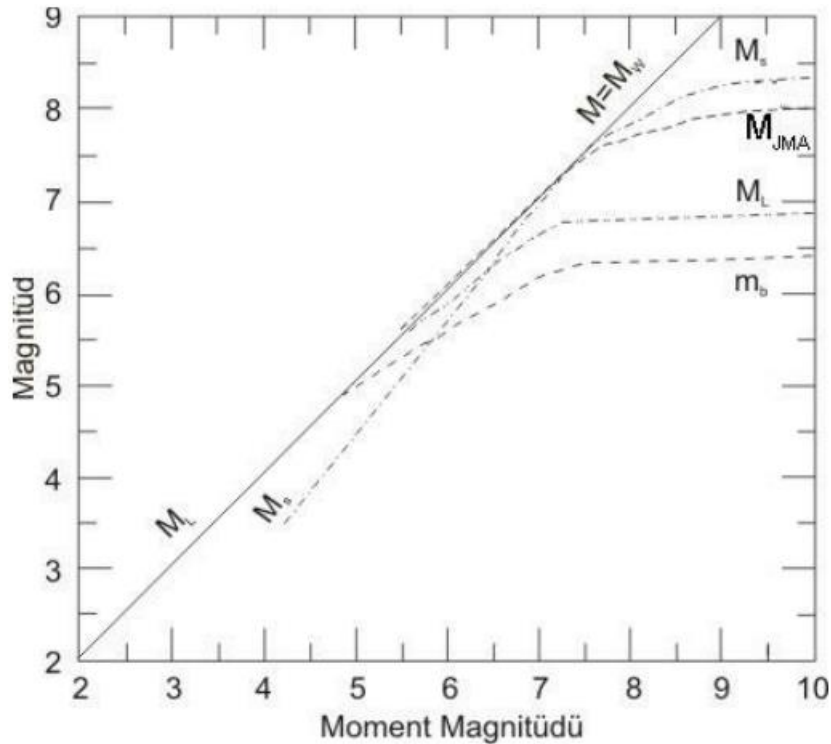
Magnitüd doygunluğu görüşüne göre; doygunluk problemi olmayan tek deprem büyüklük ölçeği moment magnitüdüdür (Kanamori 1977, Hanks and Kanamori 1979). Genlik ve süre okumalarıyla belirlenen büyüklük ölçekleri, fay boyu 5-50 km olan depremlerde gerçek büyüklüğü verebilir (Gündoğdu, 1986). Bunun nedeni sismogram üzerinde okunan genliğin sınırlı band genişliğine sahip aletlerce kaydedilmiş olmasıdır. Ayrıca, kaynaktaki orijinal genlik, istasyona gelene kadar hareket ettiği ortamdan etkilenebilmektedir. Bu nedenle, fayın kırık uzunluğunun 50 km'yi geçtiği depremlerde genlik ölçümüne dayalı magnitüd belirlenmesi yerine sismik moment kullanılarak moment magnitüdünün hesaplanması tercih edilmektedir. Moment magnitüdünün temelini oluşturan sismik moment fay uzunluğu ile ilişkili olup, diğer magnitüd türleri fay uzunluğuyla ilişkili değildir (Kanamori and Anderson 1975).

Moment magnitüdü, diğerlerine göre daha güvenilir deprem büyüklüğü ölçeği olmasının yanında, hesaplanması diğer yöntemlere göre çok daha karmaşıktır. Esasında, depremin oluşumunun matematiksel bir modelinin yapılmasına karşılık gelir. Bilimsel çalışmalara dayalı karmaşık yöntemlerle belirlenebildiği için hesaplanması zaman almaktadır. Gelişen teknolojiye bağlı olarak kısa sürede hesaplanmasına çalışılmaktadır.

Uygulamada, bazı araştırmacılara göre $M \geq 4,0$ olan, bazı araştırmacılara göre ise $M \geq 6,0$ olan depremler için (KOERI 2004) moment magnitüdü hesaplanabilir. Sismik moment değerinin depremde oluşan fayın boyutlarıyla ilişkili olarak hesaplanması durumunda $M \geq 6,0$ olan depremler için hesaplanabilir. Çünkü $M \geq 6,0$ olan depremlerde yer yüzeyinde kırık gözlenebilir. Keilis-Borok (1960) ile Julian and Anderson (1968) tarafından P ve S dalgası spektrumlarından yararlanılarak öne sürülen bağıntılarla (Aki 1966, Hanks and Wyss 1972), frekans grafiklerinde köşe frekansı kullanılarak (Papageorgiou and Aki 1983a, Papageorgiou and Aki 1983b) frekans grafiğinin eğimli kısmına ve düzleştiği ya da düzleşmeye başladığı yerlere çizilen doğruların kesişme noktası belirlenerek, son yıllarda elde edilen bilimsel bulgulara dayanılarak (Boore 2002, Boore 2003) ve deprem kayıtlarındaki pik yatay hız değerini temel alan bağıntılar kullanılarak (Mahdyiar *et al.* 1986) veya köşe frekansı ile ilişkili olarak geliştirilen nomograflar yardımıyla (Mahdyiar 1987) sismik moment değeri hesaplanabilmektedir.

Bu nedenle $M \geq 4,0$ olan depremler için de sismik moment değerini hesaplamak mümkündür. Ancak moment büyüklüğü hesaplamalarında olduğu gibi köşe frekansı çalışmaları da uzmanlık ve tecrübe gerektirmektedir. Bu tür çalışmalarda yoğun dikkat ve özen gereklidir. Köşe frekansı çalışmasını tecrübeli uzman bir sismolog yapmalıdır. Aksi durumda hata yapılması riski vardır (Beyaz 2004). Bu nedenle bu çalışma kapsamında köşe frekansı yöntemine dayalı bir sismik moment dolayısıyla da moment magnitudü hesaplaması yapılmamıştır.

Deprem büyüklüğünü ifade etmek için kullanılan M_L , M_b , M_s ve M_d ölçekleri depremlerin büyüklüklerini karşılaştırmak için bir fikir verir. Ancak, en anlamlı büyüklük tanımlaması sismik moment (M_0) ile yapılandır. Bir fay boyunca meydana gelen kırılma, bir kuvvet çifti oluşturan eşit ve zıt yönlü iki kuvvetin/kuvvet çiftinin momenti olup, sismik moment olarak tanımlanır (Kanamori and Anderson 1975). Çeşitli magnitud türleri arasındaki ilişki ve magnitud ölçeklerinin doygunluğu Heaton *et al.* (1982) tarafından grafik olarak ifade edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Değişik magnitud türleri arasındaki ilişki ve magnitud ölçekleri doygunluğu (M_w : moment magnitudü, M_s : yüzey dalgası magnitudü, M_L : yerel magnitud, m_b : cisim dalgası magnitudü ve M_{JMA} : Japon Meteor. Kurumu magnitudü) Heaton *et al.* 1982)

Yüzey dalgası magnitudü, $7,5 \leq M_s$ olan depremlerde doygunluğa ulaşmaktadır. Depremde kırık alanı etkisiyle açığa çıkan enerjiyi ifade eden sismik momente (M_0)

dayalı olarak oluşturulan bir magnitüd ölçeği (moment magnitüdü- M_w) büyük depremleri daha iyi ifade eder. 1906-San Francisco ve 1960-Şili depremlerinin her ikisi de $M_s=8,3$ olan yüzey dalgası magnitüdüne sahiptir. Ancak, depremlerin fay yüzeyi alanı ve tektonik özellikler dikkate alınarak hesaplandığında; San Francisco depreminde açığa çıkan enerji, Şili depreminde açığa çıkan enerjiden daha küçüktür (Boore 1977, Kramer 1996). Moment magnitüdü kullanılarak 1906-San Francisco depremi için $M_w=7,9$ ve 1960-Şili depremi için $M_w=9,5$ bulunmuştur (Bolt 1993). Benzer olarak 1959-Montana ve 1989-California depremlerinin her ikisinin de yüzey dalgası magnitüdü $M_s=7,1$ 'dir. Ancak, 1959-Montana depreminde $M_w=7,3$ ve 1989-California depreminde $M_w=6,9$ olarak hesaplanmıştır (Coduto 1998). Moment magnitüdü fay ortamı, fay sırasındaki yer değiştirme ve enerji boşalımı gibi fiziksel parametrelerle ilişkili olduğundan, çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Kramer 1996). Fakat hesaplanması oldukça zordur. Karşılaşılan en önemli problem fay düzleminin tam olarak tanımlanamamasıdır. Fay yüzeyi boyunca değişen eğim, fay yüzeyinin dalgalılığı ve pürüzlülüğünün ihmal edilmesi belirsizlik oluşturmaktadır. Moment magnitüdünün hesaplanmasındaki zorluk nedeniyle, depremin büyüklüğü uygun magnitüd türlerinden birisiyle hesaplanarak; geliştirilmiş eşitlikler ve korelasyonlar yardımıyla moment magnitüdüne dönüştürülebilmektedir. Ancak, magnitüd dönüşüm bağıntılarının güvenilirliğine ve hesaplamalardaki hassaslığına dikkat edilmelidir.

4.2.5. Süre magnitüdü (M_D)

Yukarıdakilerin dışında, deprem kayıtlarındaki değişik özellikleri kullanarak geliştirilmiş büyüklük ölçekleri de vardır. Son yıllarda Türkiye'de de kullanılan süre magnitüdü (M_D) bunlardan birisidir. Büyük bir depremin, sismometre üzerinde daha uzun süreli bir salınımına neden olacağı düşüncesinden hareketle geliştirilmiştir. Real and Teng (1973)'e göre, süre magnitüdü mühendislerden çok sismologları ilgilendiren minimum (mikro) depremleri tanımlamada kullanılmaktadır (Kramer 1996). Depremin sismik dalga kayıtlarındaki devam süresi kullanılarak belirlenen magnitüd değeri, mikro deprem araştırmalarında kullanılmaktadır. Özellikle de "rasathane sismolojisinde" magnitüdü belli olmayan depremlerin büyüklük tayininde, bölgenin sismik etkinliğinin araştırılmasında ve deprem kataloglarının oluşturulmasında önemlidir (Kalafat vd 1998).

Sarsıntının süresi aşırı tahribatı oluşturan en önemli faktördür. İlk tahribat başladıktan sonra geçen sürenin uzaması yapılarda önemli hasara/yıkıma neden

olmaktadır. Deprem süresinin uzaması, büyüklüğün ve ivmenin artmasının temel sebebidir (Richter 1958).

Deprem parametreleri ve tanımlamasıyla ilgili olarak çalışan kurum ve kuruluşların süreye bağlı deprem büyüklüğünün (M_D) yanında deprem dalgalarının özelliğini yansıtan büyüklük ölçeklerini de (M_L , M_S , M_W) tanımlaması gerekir. Aksi durumda yapılan büyüklük tanımlaması eksik kalacaktır.

Kırık/Fay uzunluğunun, magnitüdü belirlerken kullanılan genliğe ait enerjinin dalga boyunu geçtiği hallerde; bu ölçekler doygunluğa ulaşır, gerçek büyüklüğü yansıtamaz ve yanılgılara neden olurlar (Kanamori 1977). “Necioğlu (2004) ile yapılan sözlü görüşmeye göre; Süre magnitüdünün kullanımında; i) Bu magnitüd türünün, en fazla 4.0-4.5 büyüklüğündeki depremleri/sarsıntıları ölçeklendirmede kullanılması; ii) Kayıt süresi uzun olan büyük depremleri tanımlamada yanılgılara neden olabileceği; iii) Yanılgıları önlemek için 4.0-4.5’tan daha büyük depremlerin, farklı büyüklük ölçekleri ile tanımlanması gerekir” ilkelerine dikkat edilmelidir (Beyaz 2004).

Genel olarak, $3 < M < 7$ olan depremler için M_L veya m_b ’nin; $5 < M < 7,5$ olanlar için M_S ’in ve $M > 7,5$ olanlar için de M_W ’nin kullanılması önerilmektedir (Bolt 1989).

Magnitüd dönüşüm bağıntıları hazırlanırken kullanılacak deprem kayıtlarının bir referans kayda göre standart kayıt türüne dönüştürülmesi gerekmektedir (Stewart 1975, Yılmaztürk ve Bayrak 1997, Kalafat 2002). Duda and Nuttli (1974)’e göre; her bir tektonik bölgenin kendine has ölçekler arasında (yöresel ölçekten magnitüd ölçeğine vb. gibi) birbirine dönüşümü sağlayacak genelleştirilmiş bağıntılarının olması gereklidir (Stewart 1975). Bütün büyüklük ölçekleri arasında doygunluk problemi olmayan bir tek moment magnitüdüdür. Bir depremin moment büyüklüğü hesaplanabilmişse, diğer büyüklük türlerine göre hesaplama yapılmasına gerek kalmadığı kabul edilmektedir.

4.3. Regresyon ve Korelasyon Analizi

Regresyon analizi konusunda verilen teorik bilgiler; İstatistik alanında yazılmış kitaplardan derlenmiştir. Bunların neredeyse tamamına yakını Genel İstatistik konularını kapsamakla beraber; bir kısmı Uygulamalı İstatistik konularında (Kutsal vd. 1990, Apaydın vd. 2002, Alpar 2003), bir kısmı Mühendisler İçin İstatistik veya Olasılık konularında (Ross 1987, Vardeman 1994, Schiff and D’agostino 1996), bir kısmı ise Jeo-İstatistikle ilgili konularda (Temur 1995) yazılmış kitaplardır.

4.3.1. Regresyon analizi ve amaçları

Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişki ve bağıntıların araştırılması olarak tanımlanmaktadır. Regresyon analizi; i) bağımlı değişkenin değişimini açıklama, ii) herhangi bir gözlemin ortalama y değerini bulma, iii) dağılımın noktaları için en iyi eğriyi belirleme vb. amaçlarla yapılır.

Regresyon verileri bağımsız değişkene göre; yöntemsel ve gözlemsel veriler olarak iki şekilde toplanabilir.

Regresyon analizlerinde, bir olaya aynı anda etki eden değişik faktörler, farklı özelliklerin ortaya çıkmasına sebep olmakta ve bu tür farklı değişkenler arasında ortaya çıkan ilişkiler veya birbirleri üzerindeki etkileri araştırılmaktadır.

Regresyon analizinde bir bağımlı değişkene karşılık çok fazla sayıda bağımsız değişken işleme girebilmektedir. Regresyon analizi, işleme giren bağımsız değişken sayısı ve/veya değişkenlerin üslerinin derecesine göre değişik adlar almaktadır (Akhun 1979). Bunlar: i) basit regresyon analizi ve ii) çoklu regresyon analizleridir.

Değişkenler yardımıyla oluşturulan dağılım grafiklerinde, değişkenleri temsil eden noktalar bir doğru etrafına toplanıyorsa; basit regresyon analizi söz konusudur.

4.3.1.1. Basit regresyon analizi

Biri bağımlı diğeri bağımsız, iki değişkenin birinci dereceden ilişkisi basit regresyon analizi olarak kabul edilir. Dağılım grafiklerindeki noktalar bir doğru etrafındadır. Bu doğrunun denklemi;

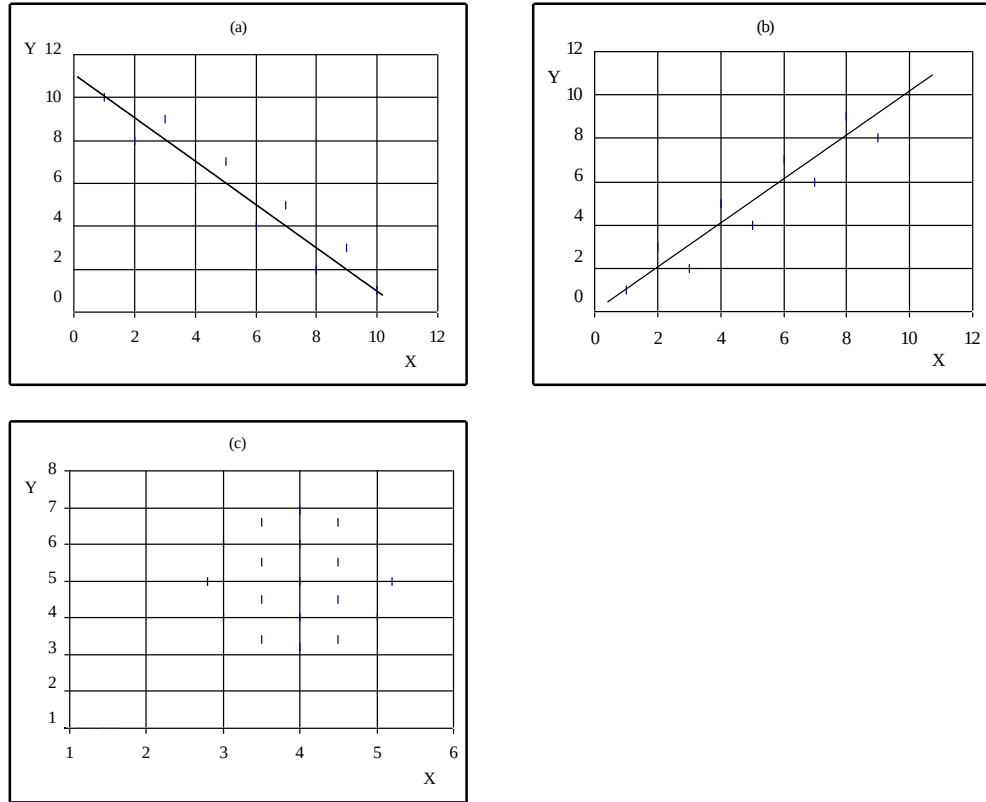
$$Y = a + b * X \quad (6)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; Y: bağımlı değişken, X: bağımsız değişken, a: regresyon doğrusunun Y eksenini kestiği değer, b: regresyon doğrusunun eğimidir.

4.3.2. Korelasyon analizi

Birlikte değişen iki değişkenle, bunları oluşturan şartlar arasındaki ilişkinin yönü, derecesi ve istatistik açıdan önemli olup-olmadığının belirlenmesi için yapılan incelemeye (basit) korelasyon analizi denmektedir. Her bir değişkendeki ölçümlerin (N) her biri için iki ölçüm değişkeni arasındaki korelasyon katsayısını hesaplar. Uygun sonucun elde edilebilmesi için, ikiden fazla değişkenin olması istenir. Korelasyon katsayısı değerlendirilirken:

- Değişkenlerden biri artarken diğeri azalıyorsa, bunların arasında negatif korelasyon vardır (Şekil 12.a).
- Değişkenlerden biri artarken diğeri de artıyorsa, bunların arasında pozitif korelasyon vardır (Şekil 12.b)
- Değişkenlerin birinin artıp-azalmasından diğeri etkilenmiyorsa ve/veya dağılım diyagramında noktalar daire benzeri bir ortamda toplanıyorsa bu iki değişken arasında herhangi bir korelasyon yoktur (Şekil 12.c) gibi durumlar incelenmektedir.



Şekil 12. Basit korelasyon grafikleri [a) negatif ilişki, b) pozitif ilişki ve c) korelasyon yok (Temur 1995, Apaydın vd. 2002)]

4.3.2.1. Korelasyon katsayısı (R)

Değişkenler arasında ve/veya değişkenlerle çevre şartları arasında korelasyonun varlığı ve derecesi korelasyon katsayısı (R) olarak kabul edilir. Korelasyon katsayısı 1 ile -1 arasında herhangi bir değer alabilir.

Korelasyon katsayısı iki değişken arasındaki ilişkinin kuvvetini verir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Korelasyon katsayısına (R) göre değişkenler arasındaki ilişki

Korelasyon katsayısı (R)	Değişkenler arasındaki ilişkinin kuvvet derecesi
-1,000 - -0,300	Negatif korelasyon
-0,299 - 0,300	Korelasyon ilişkisi yok
0,301 - 0,600	Çok zayıf-zayıf pozitif korelasyon
0,601 - 0,850	Kuvvetli pozitif korelasyon
0,851 - 1,000	Çok kuvvetli pozitif korelasyon

4.3.2.2. Korelasyon katsayısının önem kontrolü ve ilgili testler

F-Testi: İki değişken grubunun temel alınan dağılımında eşit olmayan değişkenler için farklı bir seçeneğe karşı eşit değişkenlerle olan dağılımlardan gelen boş varsayım sınaması yapmak; varyansını karşılaştırmak için iki örnekli F-testi kullanılır.

t-Testi: Bu test yardımıyla; her bir örnekle, verilerin ortalamasının eşitliği sınanır. Üç farklı varsayımı kullanır: i) Veri değişkenlerinin eşit olması, ii) Veri değişkenlerinin eşit olmaması ve iii) İki örneğin işlemden önceki ve işlemden sonraki gözlemleri temsil etmesidir.

Hesaplanan bir t-istatistik değeri “t-Çizelgesi” adı verilen tablo yardımıyla bulunabilir. Veri türüne göre, negatif veya pozitif bir değerde olabilir.

4.4. SPSS Bilgisayar Programı

Bu çalışmada kullanılan istatistik yöntemi SPSS analiz yöntemidir. SPSS ile ilgili teorik genel bilgiler birçok kaynaktan derlenerek, bu tezin metin kısmına eklenmiştir. SPSS tekniklerinin uygulanması amacıyla IBM tarafından sunulan SPSS yazılımı (IBM SPSS Statistics 2019) kullanılmıştır. Bu yazılım hakkındaki genel bilgiler öncelikle (www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software) adresinden (her ne kadar yeterli bilgi içermiyor olsa da) derlenmiştir. Zaman zaman, Norusis (1993)’in SPSS için hazırladığı kullanım kılavuzundan yararlanılmıştır. Bütün bunların yanında Türkçe bilgi veren bir kaynak olması ve detaylı anlatımı nedeniyle (Ergün 1995)’in SPSS kitabına başvurularak, referans bilgiler derlenmiştir. Bütün bu bilgiler beraber işlenerek (www.ibm.com/tr-tr/analytics/spss-statistics-software) yazılımından yararlanılmıştır. Bazı istatistik kavramları ile ilgili olarak zaman zaman farklı istatistik kitaplarına başvurulmuştur.

SPSS (Statistical **P**ackage for **S**ocial **S**cience) güçlü bir istatistik analizini ve veri işletim sistemini, tanımlama menüleri ve basit diyalog kutuları yardımı ile gerçekleştiren bir windows programıdır. Başka bir ifadeyle SPSS programı; Verileri kendi tanıdığı ve/veya kullandığı veri biçimine dönüştürerek buradan yeni veriler hesaplar ve bu yeni değerler üzerinde istatistiksel işlemler yapar istendiği durumlarda grafikler hazırlar.

4.4.1. Ana komutlar

SPSS uygulamaları, Şekil 13’de görüldüğü gibi uygulama penceresi üzerindeki ana menü çubuğu üzerinden, SPSS program grubuna, program dosyası içinde bulunan SPSS dosyası seçilerek veya ana pencerede bulunan SPSS sembolü çift tıklanarak (fare yardımı ile) SPSS çalışma sayfasına geçilir. Menü çubuğu yardımı ile istenilen çalışma penceresi seçilerek uygulama işlemine geçilir. Uygulama penceresi üzerindeki ana menü çubuğu 10 tane birbirinden ayrı alt menü’yü kapsamaktadır. Bunlar;

File: SPSS veri, metin, grafik dosyalarını okuma, çevirme, kaydetme ve yazıcıdan çıkartma görevlerini yerine getirmek için kullanılır.

Edit: SPSS yazı dosyasını çıktı veya syntaks penceresinden metin ve veri sayfası üzerinde her türlü ekleme, çıkarma, düzeltme, arama veya kopyalama için kullanılır.

Data: SPSS veri dosyası üzerinde değişkenleri tanımlamak için kullanılan bazı teknikler, dosyaya değişken ve veri ekleme, verileri sıraya koma, bölme, birleştirme, değişkenleri ve değerleri dönüştürme veya analiz için yeni çalışma alt birimleri oluşturmak için kullanılır.

View: Çalışma sayfası üzerinde her türlü kısa yol çubuklarını oluşturmak ve sayfaya ait görüntü düzeni için kullanılır.

Transform: Seçilen bir veri dosyası üzerinde dosyanın ana yapısını değiştirmeden değişiklik yapılması veya var olan değerlere ait yeni değişkenlerin hesaplanması için kullanılır.

Analyze: Veri dosyası üzerinde yapılması istenen istatistik hesaplamaları için kullanılır.

Graphs: Veri dosyasında hesaplamaları yapılan değişkenlere ait grafiklerin çizimi için kullanılır.

Utilities: Veri ve çıktı dosyasına ait sayfa düzeni, yazı karakteri, yazı büyüklüğü, vb. değişiklikler için kullanılır.

Extensions: Programa ait uzantıların veya ek fonksiyonların isteğe bağlı olarak eklenip-çıkarılabileceği ve/veya araştırılabileceği özellikleri için kullanılır.

Windows: Farklı SPSS veri ve çıktı sayfalarının ekranda aynı anda görülmesi ve işlem yapılması için kullanılır.

Help: SPSS programı üzerine her türlü tanıtıcı ve açıklayıcı bilgiyi kapsayan yardımlar için kullanılır.

Değişken tanımlama işlemi sayfanın altında bulunana “Variable View” komutu ile gerçekleştirilir: Tanımlanmak istenen değişken, yazılması istenilen sütuna farelin çift tıklanması veya “Define variable” komutunun seçilmesi ile geçilir. Değişken ismi 8 karakterden fazla olmamalıdır.

- Değişken karakterinin tipi “Type”,
- Etiket adı “Labels”,
- Boş değer sayısı “Missing values” ve
- Kolon genişliği “Column format”, komutları ile düzenlenebilir.

Değişkenler tanımlandıktan sonra sayfanın veri ile donatımı gerçekleştirilir ve daha sonra SPSS programı uygulama işlemine geçilir.

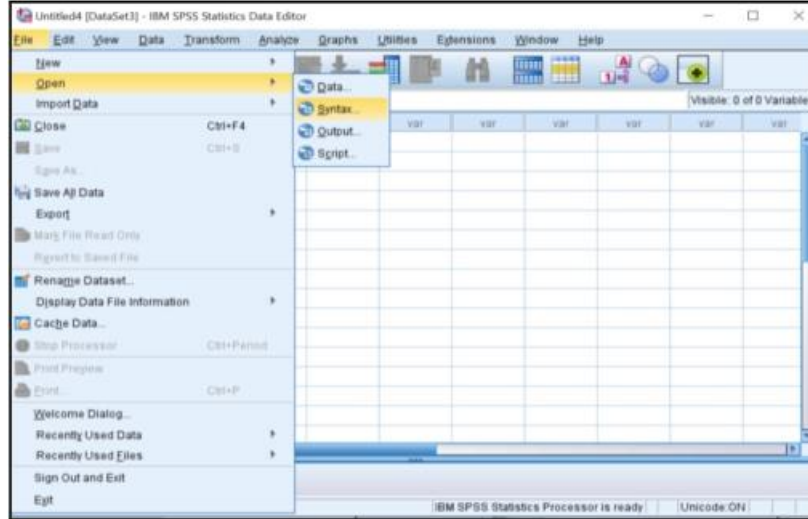
4.4.2. SPSS uygulama işlemleri

Ana menü üzerinde tanımlanan işlemler alt işlem basamakları aracılığı ile aşağıdaki gibi uygulanmaktadır:

Dosya işlemleri “file”:

Dosya işlemleri için IBM SPSS ana penceresindeki menüler kullanılmıştır (Şekil 13). Dosya işlemleri için:

- Ana menü” den “ File”- “Open”
- “Open”dan alt menüye geçilerek buradan da istenen veri dosyası açılır.
- Eğer yeni bir SPSS veri dosyası açılmak isteniyorsa “New” komutu seçilir.



Şekil 13. IBM-SPSS Uygulama sayfası ve dosya ana menüsü (IBM SPSS Statistics 2019 yazılımının deneme sürümüne ait ana sayfadan -File penceresinden- kopyalanmıştır)

Yeni bir dosya işlemi:

Bir veri dosyası, çalışmaya ait değişkenler için sütunları ve bu değişkenlere ait değerler için satırları içeren bir veri gösterim çizelgesidir. Bu dosyanın hazırlanmasında; öncelikle çalışmada kullanılacak değişkenlerin harf veya rakamsal karakter olarak tanımlanması gereklidir. Tanımlanan değişkenin altına o değişkene ait değerler, harf veya rakamsal olarak önceden yazılır.

- Bir veri dosyası hesaplamalardan önce, “Save as” komutuyla “.sav” uzantılı olarak, bir isim verilerek kaydedilmelidir.
- İstatistik analiz işlemleri tamamlanan bir program çıktısı, “Save output as” komutuyla “.ist” uzantılı olarak kaydedilir.
- Daha önce yazılmış ancak, yeni düzeltilmiş dosyalar ise “Save data” komutu yardımı ile kaydedilir.
- Yazdırılmak istenen verilerin çıktısı için “Print” komutu kullanılır.

Yazım işlemleri “Edit”:

Yazım işlemleri için aşağıdaki alt işlem basamaklarından yararlanılmaktadır:

1. Veri/Çıktı dosyasının kesilip “Cut” bir başka dosyaya yapıştırılması “Paste”,
2. Veri/çıktı dosyasının bir başka dosyaya kopyalanması “Copy” ve yapıştırma “Paste”,
3. Veri/çıktı dosyasının bazı bölümlerinin silinmesi “Clear “,
4. Veri/çıktı dosyasının işlem için seçilmesi “Select”,
5. Bir verinin dosyada aranıp bulunması “Find” komutlarıyla yapılmaktadır.

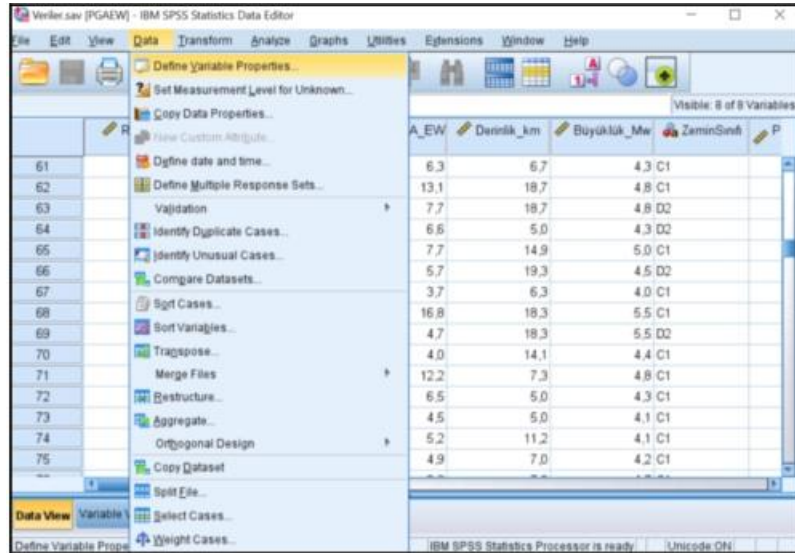
Görüntü işlemleri “View”:

Görüntü alt menüsü:

1. Mevcut çalışmayı gösteren tanıtım çubuğu “Status Bar”
2. Çalışma komutlarına ait menü “Tool bars”
3. Sayfadaki yazım karakterlerine ait düzenleme komutu “Fonds”
4. Alt çizgi düzenleme komutu “Grid Lines”
5. Değişkenlere ait tanıtım etiketleri “Value Labels”
6. Değişkenlere ait düzenlemeleri içeren “Variables” komutlarını içermektedir.

Veri işlemleri “Data”:

Hazırlanan bir veri dosyası üzerinde işlemler (Şekil 14):



Şekil 14. IBM-SPSS Uygulama sayfası ve “Data” menüsü (IBM SPSS Statistics 2019 yazılımının deneme sürümüne ait “Veri Giriş” penceresinden kopyalanmıştır)

1. Zamana ve tarihe bağlı tanımlamalar için “Define dates” komutu,
2. Değişken tanımı için kalıp dosyalar hazırlanması için “Templates” komutu,
3. Değişken sütunu ilave etmek için “Insert variable” komutu,
4. Değer satırı ilave etmek için “Insert case” komutu,
5. Aranılan bir değere ait satıra gitmek için “Go to case” komutu,
6. Değişkenlerde bulunan verileri sıralamak için “Sort cases” ana komutu altındaki
 - Küçükten büyüğe/baştan sona doğru “Ascending” veya
 - Büyükten küçüğe/sondan başa doğru “Descending” komutları,
7. Değişkenleri birbirine dönüştürmek için “Transpose” komutu yardımıyla yapılır.
8. Değişkenlerin veya değerlerin bulunduğu iki dosyanın birleştirilmesi veya bir dosya içine başka dosyalardan veri aktarmak için “Merge files”, “Add cases” veya “Add

variables” komutları kullanılır. Burada, iki dosyanın da değişkenleri aynı tür olmalı ve aynı adları taşımalıdır.

9. Bir dosyadaki veriler gruplandırılarak, yeni işlemler yapıp yeni bir dosya içinde saklanmak istenirse “Agregate” komutu kullanılır.

10. Bir çizelge içindeki değerleri belli değişkenlere göre gruplayıp her grubun istatistik değerlendirilmesi yapılmak isteniyorsa “Split Files” komutu kullanılır.

11. Eğer dosyadaki tüm veriler üzerinde değil de sadece seçtiğimiz bazı veriler üzerinde çalışmak istendiğinde, “Select Cases” komut grubunda çalışılmalıdır.

12. Değerler üzerinde frekans değerleri ile ilgili işlemler yapılması isteniyorsa “Weight Cases” komutu kullanılır.

1. Ortalamaların karşılaştırılma işlemleri “Compare Means”:

- Ortalamaların karşılaştırılması “Means”:

İki gruba ait ortalama karşılaştırma testi için “Means” seçeneği seçilir, bağımlı ve bağımsız değişkenleri ile; gruplandırma değişkenleri “Dependent”-“Independent”-“Layer” tesbit edildikten sonra seçenekler “Option” komutundan istenilen istatistikler “Cell displays”, düzeyler “Labels” ve ANOVA Çizelgesi ve doğrusallık testi “Statistics for first layer”ın alt seçeneklerinden işaretlenerek işlem gerçekleştirilir.

- Bağımsız örneklem için T-testi “Independent Samples T-test”:

İki bağımsız örneklem grubu için ortalama testi “Independent Sample T-test” seçeneğinden; Bağımsız örneklem T-testi “Independent Samples T-test”, bağımlı örneklem “Test variable” ve grup bağımsız değişkenleri “Grouping variable” ile bu değişkene ait grup değerleri seçildikten sonra, “Option” komutu ile anlamlılık düzeyi tespit edilerek işlem tamamlanır.

T-testi yorumlanması:

Eğer hesaplanan anlamlılık “Significiancy” P değeri, anlamlılık değerin (0.05)’den küçükse grupların ortalamaları arasında anlamlı bir fark vardır, büyük ise fark yoktur şeklinde yorumlanır.

F-testi yorumlanması:

Sıfır hipotezi, bütün grup ortalamalarının eşit olmasıdır. “F prob” ise eğer bütün ortalamalar eşit olsaydı, bunun dışında bir gözlem elde etme ihtimalini göstermektedir. Bu değer 0.05’den küçük olursa H_0 reddedilir, büyük ise kabul edilir.

2. Korelasyon hesaplamaları “Correlation”:

- İki değişkene bağlı analiz “Bivariate”;

İkili değişkenlere dayalı ilgileşim değeri hesaplamak için “Statistics”/”Correlate”/ “Bivariate” komutları seçilir, değişkenler “Variable” tanımlanır, ilgileşim katsayısı hesaplama metotlarından “Correlation Coefficient” kutusundan istenen metotlar işaretlenir ve anlamlılık değişkeni “Test of Significiancy” seçilerek işleme geçilir. “Option” komutu ile istatistiğe dayalı istenilen işlemler ve işaretlenebilir. Gözlemlenen ilişki ölçüm değerine göre yorumlama yapılır.

- Parça değişkene bağlı analiz “Partial”;

Parçalı değişkenlere dayalı ilgileşim değeri hesaplamak için “Statistics” / “Correlate” / “Partial” komutları seçilir, değişkenler “Variable” ve kontrol değişkenleri “Controlling” tanımlanır, ilgileşim katsayısı hesaplama metotlarından “Correlation Coefficients” istenen metotlar işaretlenir ve anlamlılık değişkeni “Test of Significiancy” seçilerek işleme geçilir. “Option” komutu ile istatistiğe dayalı istenilen işlemler de işaretlenebilir. Gözlemlenen ilişki ölçüm değerine göre yorumlama yapılır.

3. Regrasyon analizi işlemleri “Regression”:

- Doğrusal analiz “Linear”; regresyon analizi yardımı ile bağımsız değişken(ler)e verilen herhangi bir değere göre bağımlı değişkenin alacağı değer hesaplanabilir.

SPSS programı yardımı ile regresyon analizi yapılması için “Regression”, “Linear” komut dizisiyle çıkan ayarlama penceresinden bağımsız değişkenler “Independent” ve bağımlı değişkenler “Dependent” aktarılarak işlem gerçekleştirilir. Regresyon doğrusu çizilmeden önce doğrusallıktan ayrılış önem testi yapmak gerekir. Bu bir F-testidir (varyans analizi) ve yapılan varyans analizi sonucunda elde edilen F değeri, regresyon modelinin verilere ne kadar uygun olduğunu göstermektedir. “Signif F” değeri, bulunan F değerinin anlamlı olup olmadığını göstermektedir. Bu değer 0.05 altında ise anlamlıdır ve doğrusal model uygundur şeklinde yorumlanır. Regresyon çizgisinin ana karakteristiğini veren regresyon katsayısıdır. Bu katsayının standartlaştırılmış hali “Standardized regression coefficient” SPSS’te Beta katsayısı olarak adlandırılır ve minimum kareler çizgisinin eğimidir.

Doğrusal modelin uyum ölçüleri de korelasyon katsayısı “R² Coefficient” veya “R square” yardımı ile bulunabilmektedir. Eğer gözlenen değerlerin hepsi regresyon doğrusu üzerinde olsaydı R²=1, değişkenler arasında bir ilişki olmasaydı R²=0 olurdu.

5. ÇALIŞMA İÇİN VERİLERİN DERLENMESİ

Van gölü havzasında 1976-2019 yılları arasında meydana gelmiş olan ve KYHK istasyonlarındaki ivmeölçerlerin kaydettiği deprem kayıtları (EK-1 ve EK-2). AFAD-DDB tarafından kayıt istasyonu zemin bilgilerinin/sınıfının tespit edilebilmesi amacıyla açılmış sondajların kuyu kesiti ve/veya jeofizik ölçümlerle belirlenen (V_{s-30}) değeri vb. bilgiler çalışmada kullanılmak üzere derlenmiştir.

5.1. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları (KYHK)

Çalışmada kullanılan KYHK'ları, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı'nın (DDB) derlediği verilerden oluşmaktadır.

Türkiye genelinde AFAD-DDB'nin denetiminde, 2019 yılı itibariyle, yaklaşık 850 deprem kayıt istasyonu bulunmaktadır.

Van Gölü Havzasında ise ($37^{\circ}.5 - 40^{\circ}.0$ K ve $41^{\circ}.0 - 45^{\circ}.0$ D koordinatları arasında kalan alanda) yaklaşık 40 kayıt istasyonu bulunmaktadır. Van Gölü Havzasında 1976-2019 yılları arasında meydana gelmiş 249 deprem arasından seçilen 212 ivme kaydı bu tez çalışmasında kullanılmıştır.

Van Gölü Havzasında, 1 Ocak 1976 – 01 Ocak 2019 tarihleri arasında meydana gelen depremler arasından; büyüklüğü 5,0 ve daha büyük ($5,0 \leq M$) olan depremlere ait ivme kayıtları seçilmiştir. İvme kayıtları içerisinde, maksimum yer ivmesi $5,0 \text{ cm/s}^2$ ve üzeri ($5,0 \text{ gal} \leq a_{maks}$) olan kayıtların K-G ve D-B yönlerindeki bileşenleri alınarak veri havuzu/bankası oluşturulmuştur (EK-2). Bu veriler, bölgeye ait deprem enerjisi azalım bağıntısı (sönüm denklemi) çalışmalarında kullanılmıştır.

Deprem büyüklükleri, Deprem Dairesi Başkanlığı (DDB) tarafından farklı zamanlarda birbirinden farklı büyüklüklerde tanımlanmıştır. Bütün deprem büyüklükleri, doygunluk problemi olmayan moment magnitüdü (M_w) ölçeğine (büyüklüğüne) dönüştürüldükten sonra kullanılmıştır. Çalışmanın bu aşamasından sonra, sadece M_w türündeki büyüklükler kullanılmıştır.

Çalışma alanında, 1976-2019 yılları arasında, $4,0 \leq M_w$ olan 249 deprem meydana gelmiştir (EK-1). KYHK istasyonları tarafından ölçülmüş bu deprem kayıtlarından, $a_{maks} \geq 10,0 \text{ gal}$ olan 212 ivme kayıt bilgisi/verisi (toplamda 358 a_{maks} verisi) kullanılmak üzere seçilmiştir (EK-2).

Seçilen deprem kayıtları kullanarak, “IBM SPSS İstatistik yazılımında” çoklu regresyon analizi yapılmış ve en uygun korelasyonu gösteren katsayılar elde edilerek, Van Gölü Havzasına ait bölgesel bir sönüm denklemi oluşturulmuştur.

Elde edilen deprem enerjisi azalım bağıntısı, yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından önerilen sönüm denklemleriyle karşılaştırılmıştır.

Kuvvetli Yer Hareketi Kaydı ile Uğraşan Kurumlar:

Bu çalışmada kullanılan, Van gölü havzasında meydana gelmiş, deprem verilerine ait kayıtların lldği istasyonlar, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (DDB) ait istasyonlardır ve bu istasyonların kuvvetli yer hareketi kayıtlarının özellikleri aşağıda verilmiştir.

Ülkemizde yaşanan deprem titreşimlerini kaydetmek, titlerişmeleri değerlendirmek ve belgelemek üzere yapılandırılan ilk kurum T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD-DDB) olup 1976 yılından bu yana bu alandaki en geniş ivmeölçer ağına ve en büyük deprem kayıt arşivine sahiptir (İnan vd. 1996). DDB’nin deprem kayıt arşivinin yanı sıra Türkiye’de bilimsel amaçlı kurulmuş olan diğer kurum ve kuruluşlara ait deprem kayıt istasyonları ve ülkemizde yabancı kuruluşların kurdukları çeşitli istasyonlar da bulunmaktadır. U.S. Geological Survey (USGS) ile Mısırlı bilim adamları (Egyptian Scientists) istasyonları önemliler arasında yer almaktadır. DDB’de, 1976–2019 seneleri arasında oluşan 212 depreme ait çok sayıda deprem kaydına ulaşılmıştır. DDB’nin son zamanlarda KYHK istasyonu sayısı arttırılmıştır. Bununla birlikte de ölçümü yapılabilen deprem sayısı da artmıştır.

Deprem kayıtlarının temini:

TC İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (DDB) tarafından 1976 yılından 2019 yılı başına kadar Van gölü havzasında meydana gelmiş depremlerin kayıtları düzenlenerek 212 civarında ivme ölçümünü içeren bir kayıt arşivi oluşturulmuştur. Bu verilere, arzu eden araştırmacılar tarafından, AFAD-DDB’nin (<https://deprem.afad.gov.tr>) web sayfasından erişilebilir.

İvmeölçer kayıtlarının genel zellikleri:

Sönüm denklemi modellemesi yapabilmek için 1976-2019 yılları arasındaki deprem kayıtları DDB’nin internet sitesinden bulunarak tek tek araştırılmıştır. Elde

edilen bu kayıtlar içerisinde; $M_w \geq 4$ olan depremler seçilmiştir. Seçilen kayıtlar model çalışmasında kullanılmak üzere bir deprem dosyası oluşturulmuştur. Bu veri dosyasındaki denklem kayıtlarından sönüm denklemi elde etmek için, deprem kayıtlarının yatay yöndeki, KG ve DB bileşenlerinden her ikisine ait ivme kayıtları bu çalışmada kullanılmak üzere yeniden düzenlenmiştir (Ek-2). İvme kayıtları akselerometreler tarafından; cm/s^2 (gal) biriminde ve yer çekimi ivmesinin ($g=981 \text{ cm/s}^2$) 1/1000'i değerinde ölçülmektedir.

Sönüm denklemi modellemesi yapımında kullanılmak için seçilen deprem kayıtlarıyla birlikte her bir deprem hakkında tanımlama bilgileri de dosyaya eklenmiştir. Bu bilgiler; depremin oluş tarihi, saati ve koordinatı, kaydı alan istasyonun adı ve koordinatı (depremin dış merkezi-istasyon mesafesini belirlemek için), yatay pik ivmeler, depremin büyüklüğü, depremin derinliği vb. özellikleri içermektedir.

Bu çalışma kapsamına deprem dış merkezi ile deprem kayıt istasyonu arasındaki mesafe (Şekil 9) belirlenmiştir. Bu amaçla, ivmeölçerin algılayıcısına gelen P dalgası ile S dalgası arasındaki süre farkından ve/veya bilgisayar yazılımları yardımıyla deprem kayıt istasyonu ile deprem dış merkezinin koordinat değerleri kullanılarak depremin dış merkezi-istasyon mesafesi (R_{epi-km}) belirlenmiştir.

5.1.1. Deprem kayıtlarının düzenlenmesi

Model çalışmalarında kullanılmak üzere derlenen deprem kayıtları Türkiye’de aletsel kayıt döneminin başlangıcı olarak kabul edilen 1976 yılından günümüze kadar (2019 yılı başına kadar) DDB’nin kaydettiği kuvvetli yer hareketi verileridir. Türkiye’ye özgü yer hareketlerini oluşturan KYHK’nda yapılan seçimde: i) Depremin magnitüdünün 4’e eşit veya 4’ten daha büyük ($M_w \geq 4$) olması tercih edilmiştir. ii) Pik yatay yer ivmesi (a_{maks})’nin değeri 10.0 cm/s^2 veya daha büyük ($a_{maks} \geq 10.0 \text{ cm/s}^2$) olanlar seçilmiştir. iii) Depremin mesafe bilgisi, kayıt istasyonu ile depremin episantırı (dış merkezi) arasındaki yatay mesafe ($R-km$) olarak kabul edilmiştir.

Daha sonra, depremin büyüklük (M_w), mesafe ($R-km$), pik yatay yer ivmesi (a_{maks}) arasındaki ilişki araştırılmak üzere; farklı modeller oluşturularak, üzerlerinde Çoklu Regresyon Analizi (ÇRA) yapılmıştır.

6. DEPREM KAYITLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, sönüm denklemi oluşturulması ile ilgili bilgiler, kullanılan parametreler, bağımlı ve bağımsız değişkenler gibi faktörler anlatılmaktadır. Daha sonra ülkemizde kullanılan sönüm denklemlerinin bazıları tanıtılmaktadır. Bunlar: i) Türkiye’de meydana gelen deprem verilerinden türetilmiş -yerli- denklemler ve ii) ülkemiz dışında meydana gelen deprem verileri kullanılarak yabancı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş -ithal- denklemlerden yaygın olarak kullanılan birkaç tanesidir.

6.1. Yerel Zemin Özelliklerinin ve Mesafenin Deprem Kayıtlarına Etkisi

Depremlerde hasara-yıkıma yol açan en önemli etkenlerde birisi zeminin şartlarıdır. Deprem sırasında merkezden uzaklaştıkça depremin enerjisinde azalma meydana gelmektedir. Ancak alüvyon, kum, silt gibi zeminler deprem titreşimlerinin yapısını etkilemekte ve hasarın artmasına neden olmaktadır.

Türkiye’de yerel zemin etkisi ancak 1970’li yılların başından itibaren yapı yönetmeliklerinde yer almaya, proje hesaplarına katılmaya başlamıştır. Bundan dolayı deprem kayıtları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)’ndeki sınıflamaya uygun olarak 3 (üç)’e ayrılmıştır. Bunlar:

- i) ZC: Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar (V_{s-30} : 360-760 m/s),
- ii) ZD: Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları (V_{s-30} : 180-360 m/s) ve
- iii) ZE: Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller (V_{s-30} : ≤ 180 m/s)’dir.

Zeminlerin farklı özellikleri nedeniyle; hazırlanan sönüm denklemi, bu 3 farklı zemin sınıfının özelliğine göre hazırlanmıştır.

6.2. Türkiye Deprem Verileri İle Üretilen (Yerli) Sönüm Denklemleri

Türkiye’de meydana gelmiş deprem verileri kullanılarak ülkemiz için önerilen yerli sönüm denklemleri sınırlı sayıdadır (Çizelge 7).

Aydan *et al.* (1996) Sönüm Denklemi:

Aydan *et al.* (1996) tarafından önerilen sönüm denklemi; 1969-1995 yılları arasında Türkiye’de meydana gelmiş $3,5 \leq M \leq 7,3$ olan 50 deprem kaydı kullanılmıştır. Bu

depremlerden 30 tanesi aletsel dönemde (aletsel kayıtlar, 1976'da başlar) ölçülmüş kayıtlardır. Büyüklük olarak M_b , M_s ve Mercalli şiddeti (I_0) kullanılmıştır. Bazı depremlerin mesafe ve pik yatay yer ivmesi değerleri belli değildir. Bu denklem daha sonra araştırmacı tarafından güncellenmiştir (Ulusay et al. 2004).

Çizelge 7. Türkiye için yerli araştırmacılar tarafından önerilen sönüm denklemleri

Önerilen denklem	σ	Araştırmacı(lar)
$PGA=2.8(e^{(0.9M_s)}e^{(-0.025R)}-1)$	*	Aydan <i>et al.</i> (1996)
$PGA=10^{((0.65M)-(0.9\log(R)))-0.44}$	*	İnan vd (1996)
$\ln Y = -0.682 + 0.258(M_w - 6) + 0.036(M_w - 6)^2 - 0.562 \ln(r) - 0.297 \ln(V_s/V_A)$ $r = \sqrt{r_{cl}^2 + h^2}$ $V_A = 1381$ ve $h = 4.48$	0.562	Gülkan and Kalkan (2002)
$PGA = 2.18e^{(0.0218(33.3M_W - R_e + 7.8427SA + 18.9282SB))}$	0.63	Ulusay <i>et al.</i> (2004)
$\log(Y_{ij}) = a + b(M_{wi} - 6) + c(M_{wi} - 6)^2 + d \log(\sqrt{R_{ij}^2 + h^2}) + eG_1 + fG_2$	**	Özbey <i>et al.</i> (2004)
$\log_{10}(PGA) = C_1 + C_2M + C_3M^2 + C_4\log_{10}(R) + C_5S_B + C_6S_C + C_7S_D + \sigma$ $R = (R_{rup} + h^2)^{1/2}$	0.77	Çeken (2007)
$\log A = 2.08 + (0.0254 * M_2) + (-1.001 * \log(R + 1))$	0.712	Kayabali and Beyaz (2011)

*: Belli değil veya verilmemiş.

**: Farklı periyod değerleri için değişik katsayılar önerildiğinden σ değişmektedir.

İnan vd (1996) Sönüm Denklemi:

İnan vd (1996) sönüm denklemiyle ilgili detaylı bilgiye ulaşamamıştır. AFAD-DDB'nin 1996 yılında yayınladığı deprem kataloğunda yer almaktadır. Adı geçen katalogta yayınlanan depremler incelendiğinde;

- 1976-1995 yılları arasında meydana gelen depremlerin farklı büyüklük ölçekleri (M_s , M_b ve M_L ölçekleri) bir arada kullanılmıştır.
- Depremlerin NS, EW ve UD (z) yönlerindeki kayıtları kullanılmıştır.
- Kullanılan deprem kayıtlarının pik yer ivmesi 1- 471 cm/s² değerleri arasındadır.

Gülkan and Kalkan (2002) Sönüm Denklemi:

Gülkan and Kalkan (2002) sönüm denklemi için: 1976-1999 yılları arasında Türkiye'de meydana gelmiş ve $5.0 \leq M_w$ olan 18 depremin 47 kaydındaki her iki yatay bileşene ait 93 tanesinin; % 5 sönümlmeli pseudo (yalancı) spektral ivme değeri kullanılmıştır.

Bu deprem enerjisi azalım bağıntısı, Boore *et al.* (1997)'un çalışmasındaki genel biçim kullanılarak hazırlanmıştır (Gülkan and Kalkan 2002). Kayıt istasyonları, zemin ve yumuşak zemin şeklinde iki sınıfa ayrılmıştır. Deprem kayıtları normal, ters ve

doğrultu atımlı faylara göre gruplandırılmıştır. Ancak, fay türlerinin sönüm denkleminin etkisi konusunda bir çalışma yapılmamıştır. Sönüm denklemi için yararlanılan verilerin çoğunluğu 17 Ağustos 1999 Gölcük (Kocaeli) depremine aittir.

Ulusay *et al.* (2004) Sönüm Denklemi:

Ulusay *et al.* (2004) tarafından önerilen sönüm denkleminin oluşturulmasında kullanılan deprem verilerinin bazı özellikleri aşağıda özetlenmiştir:

- Türkiye’de 1976-2003 yılları arasında meydana gelmiş ve KYHK’nın ölçtüğü 122 depreme ait 221 ivme kaydından yararlanılmıştır. Çalışmada $4,1 \leq M \leq 7,5$ büyüklüğünde depremler seçilmiştir. M_w magnitudündeki, 20-806 gal arası ivmeler kullanılmıştır. Deprem verileri zayıf zemin, sert zemin ve kaya üzerinden kaydedilmiştir. PGA hesaplamalarında, kaya veya zemin için farklı katsayılar önermişlerdir. Maksimum 100 km mesafedeki istasyonların kayıtlarını kullanmışlardır.

Özbey *et al.* (2004) Sönüm Denklemi:

Rastgele etki yaklaşımıyla, kuzeybatı (KB) Türkiye için deprem enerjisi azalım bağıntısı önerilmesinde; KB-Türkiye’de (Marmara Bölgesi’ndeki alanda), 17 Ağustos 1999 - 23 Ağustos 2000 tarihleri arasında oluşmuş; $M \geq 5,0$ değerindeki 17 depremin 195 ivme kaydı kullanılmıştır. Özbey *et al.* (2004) deprem enerjisi azalım bağıntısı, 17 Ağustos 1999-Gölcük ve 12 Kasım 1999-Bolu-Düzce depremleriyle bunların artçılarına ait ivme kayıtları kullanılarak hazırlanmıştır. İki deprem çeşidi arasındaki farkı, istatistiksel bir yöntem olan “karışık etki modeli hesaplaması” kullanarak yapmışlardır (Özbey *et al.* 2004). İstatistik hesaplamalarında, pik yatay yer ivmesi ve spektral ivmenin her iki yatay bileşeninin (KG ve DB) ortalamasını kullanmışlardır. Sönüm denklemi önerebilmek amacıyla, kesme dalgası hızı $(V_s)_{30}$ yaklaşımıyla, KYHK istasyonlarının kurulu olduğu ortamı 4 sınıfa ayırmışlardır. Araştırmacılar tarafından, bu sönüm denkleminin bölgesel olarak kullanılabileceği ifade edilmektedir.

Çeken (2007) Sönüm Denklemi:

Çeken (2007), yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında;

Marmara Bölgesinde ($40-42^\circ$ K ve $26-32^\circ$ D koordinatları arasında), 0-200 km mesafe içerisindeki alanda kaydedilmiş, ivmesi $1.0 \text{ cm/s}^2 \leq a$ olan deprem verilerini derlemiştir. 1982-2007 yılları arasında meydana gelmiş, büyüklüğü $4.0 \leq M_{D, w} \leq 7.5$ aralığında, iki farklı büyüklük ölçeğindeki, 128 depreme ait 721 kaydı kullanarak

bölgesel bir deprem enerjisi azalım bağıntısı geliştirmiştir. Verilerini seçerken, PGA'nın her iki yatay bileşeninden en büyük olan değeri kullanmıştır. Çeken (2007) sönüm denklemi, Marmara Bölgesi (kuzeybatı Türkiye) için önerilmiştir.

Kayabali and Beyaz (2011) Sönüm Denklemi:

Beyaz (2004) tarafından yapılan çalışma bir doktora tezidir. Kayabali and Beyaz (2011) çalışması, bilimsel makale olarak yayınlanmış halidir. Bu nedenle, bu çalışmada sadece Kayabali and Beyaz (2011) çalışması anlatılmıştır. Kayabali and Beyaz (2011) tarafından önerilen sönüm denkleminin oluşturulmasında kullanılan deprem verilerinin bazı özellikleri aşağıda özetlenmiştir:

Beyaz (2004) çalışmasında, Türkiye'de 1976-2003 yılları arasında meydana gelmiş ve 140 KYHK istasyonu tarafından ölçülen 3500 depreme ait 516 ivme kaydından yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan deprem büyüklüğünün $4,1 \leq M \leq 7,4$ aralığında olduğu ifade edilmektedir. Seçilen depremlerin ivmeleri, $10 \leq a_{maks} \leq 800$ gal arasındadır. Depremler, M_w ölçeğinde tanımlanmıştır. Kullandıkları deprem ivme kayıtlarındaki zemin etkisini gidermişlerdir. Bunun için zemine kurulu istasyonlarda sondaj açarak kuyu aşağı yöntemle, kuyu içi sismik yaparak, zemin tabakalarının V_s hızlarını belirlemiş, daha sonra bütün zemin kayıtlarına ProShake programında ters evrişim (deconvolution) işlemi uygulamıştır. Bu şekilde ivme kayıtlarındaki zemin etkisi giderilmiştir (Beyaz 2004). Dolayısıyla, önerilen sönüm denkleminin kaya ortamı temsil ettiği belirtilmektedir. KYHK istasyonu-deprem merkezi arasındaki mesafe, $R < 200$ km'den yakın olan kayıtlar kullanılmıştır. Kayabali and Beyaz (2011) denklemi kullanılırken, kaya dışındaki alanların (zemin üzerindeki yerleşim alanlarının) PGA değerini belirlemek için kullanıldığında, elde edilen sonucun zeminin büyütme katsayısı ile işleme tabi tutulmalıdır. Bu durum, zeminin büyütme etkisinin dikkate alınmasını, yapıların zemin ortamda maruz kalabileceği ivme değerinin belirlenmesini sağlayacaktır.

6.3. Türkiye'de Kullanılan Yabancı Menşeli (İthal) Sönüm Denklemleri

Ülkemizde yabancı araştırmacıların geliştirdiği birçok (ithal) sönüm denklemi kullanılmaktadır. Ancak, Campbell (1981), Joyner and Boore (1981), Sabetta and Pugliese (1987), Fukushima *et al.* (1988) gibi bazı araştırmacılar tarafından geliştirilen azalım bağıntıları nispeten daha fazla tercih edilmektedir. Bu denklemler, diğer sönüm denklemleriyle kıyaslandığında, Türkiye'de oluşan deprem özelliklerine -pik yatay yer

ivmesine- oldukça yakın değer verdiğiinden deprem risk analizlerinde bunların kullanılmaları önerilmektedir (Hasgür 1996). Bu denklemlerin bazıları, Türkiye Deprem Tehlike Haritası (2018)'nın hazırlanmasında da kullanılmıştır.

Yukarıdaki denklemler belirli aralıklarla güncellenmektedir. Daha güncel versiyonları olsa da, Sabetta and Pugliese (1987), Campbell (1989) Joyner and Boore (1988), Fukushima and Tanaka (1990) sönüm denklemleri (Çizelge 8) diğerlerine nazaran daha çok tercih edilmektedir. Bunların Türkiye depremleriyle uyumluluğu araştırılmıştır.

Çizelge 8. Yabancı araştırmacıların Türkiye dışındaki deprem verilerini kullanarak önerdikleri ve Türkiye'de de kullanılan sönüm denklemleri

Sönüm denklemi	σ	Araştırmacı(lar)
$\log A = -1.562 + (0.306 * M) - (\log(R_2 + 33.6))^{0.5}$	0.173	Sabetta and Pugliese (1987)
$\log A = -3.303 + (0.85 * M) - 1.25 * \ln(R + 0.0872 * e^{0.678 * M} + 0.0059 * R)$	0.30	Campbell (1989)
$\log A = 0.43 + (0.23 * (M - 6)) - \log(R) - 0.0027R$	0.26	Joyner and Boore (1988)
$\log A = (0.41 * M) - \log(R + 0.032 * 10^{0.41 * M} - (0.0034 * R)) + 1.30$	0.21	Fukushima and Tanaka (1990)

Sabetta and Pugliese (1987) Sönüm Denklemi:

Deprem enerjisi azalım bağıntısının geliştirilmesinde, sıg zemin ve yumuşak-derin zemin şeklinde iki ayrı ortama ait deprem verilerini kullanmıştır. Büyüklüğü ($M \geq 4,5$) ve 5-16 km derinlikte meydana gelmiş deprem kayıtlarını kullanmışlar. Verev atımlı, doğrultu atımlı ve eğim atımlı faylar etkiyle oluşan 17 depremin 95 kaydı kullanılmıştır. Büyük depremlere ait yakın mesafe kayıtlarının olmaması denklemin önemli belirsizliklerinden birisidir. Deprem kayıtlarındaki sinyal büyütmesi, gürültü kirliliği gibi parazitler filtrelenmiştir.

Campbell (1988) Sönüm Denklemi:

Çalışmada, dünya genelinde meydana gelmiş 27 depreme ait 229 pik yatay yer ivmesi kullanılmıştır. $5,0 \leq M \leq 7,7$ büyüklüğündeki depremlerden 50 km'lik mesafe içerisinde kaydedilmiş olanları tercih edilmiştir. Aşırı yumuşak zeminler haricindeki sıg çökellere kurulu istasyon kayıtları derlenmiştir. Kullanılan pik yatay yer ivmesi, iki yatay (KG ve DB) bileşenin ortalama değeridir. Richter magnitudü M ($M \leq 6,0$ ise M_L ; $M \geq 6,0$ ise M_s) kullanılmış ve pik yatay yer ivmesinin log-normal dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Deprem kayıtlarının ivme ölçümleri, büyük bir kısmı sıg zemin özelliğinde olan kaya ve zemin gibi iki ayrı ortam üzerinden alınmıştır. Kullanılan ivme

kayıtlarının doğrultu atımlı faylar ile ters fayların ürettiği depremlerden elde edildiği ifade edilmektedir.

Joyner and Boore (1989) Sönüm Denklemi:

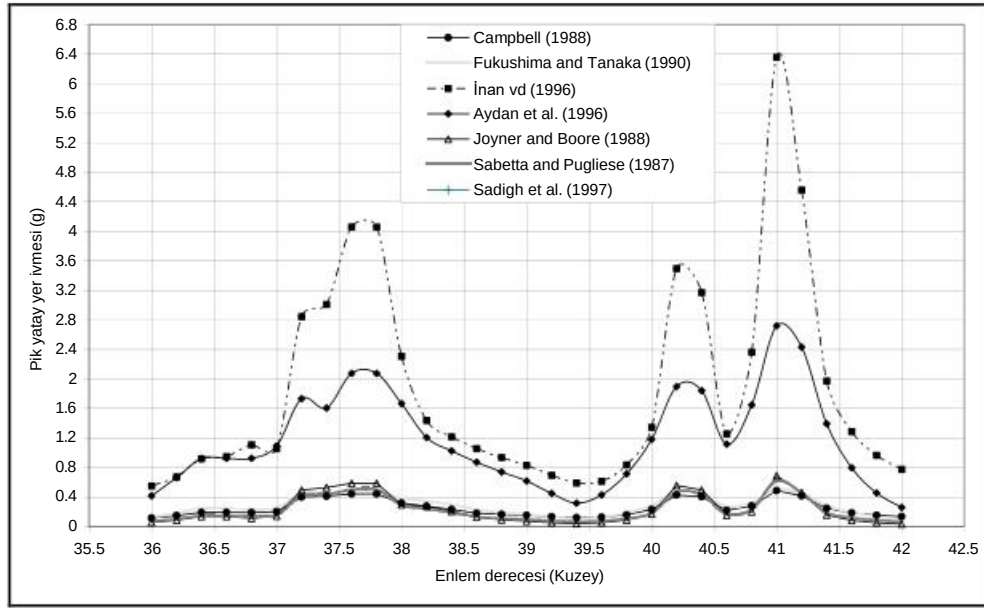
Önerilen bağıntının geliştirilmesinde, kuzey-batı Amerika’da meydana gelmiş 23 depremin 182 kaydı kullanılmıştır. Depremler, 20 km’den daha sığ derinliktedir. Depremler $5,0 \leq M_w \leq 7,7$ büyüklüğünde ve moment magnitudü ölçeğindedir. Deprem kayıtlarının her iki pik yatay yer ivmesi (KG ve DB) hesaplamalarda kullanılmıştır. Deprem ivme verileri, kaya ve zemin ortam üzerinden ölçülmüştür. Deprem kayıtlarının çoğunluğu daha önceki çalışmalarında da kullanılmıştır.

Fukushima and Tanaka (1990) Sönüm Denklemi:

Azalım bağıntısı hazırlamak için Japonya’da meydana gelmiş 302 deprem verisi kullanılmıştır. Kayıtlar kaya, sert zemin, orta sıkı zemin ve yumuşak zemin gibi 4 ayrı ortamda ölçülmüş ivme değerleridir. Kullandıkları deprem verileri Campbell (1981)’indir ve şu özelliklere sahiptir: Japonya depremlerinin derinliği 30 km’den daha az ve $M_{JMA} > 5,0$ olan $PYI \geq 10$ cm/s² değerinde olanlar ile Campbell (1981) tarafından kullanılan 50 km’den daha yakın mesafedeki Amerika depremleridir. Bu nedenle Japonya ve Amerika için geliştirilen farklı iki magnitud türü bir arada kullanılmıştır.

6.4. Yerli Sönüm Denklemlerinin Karşılaştırılması

Türkiye’de kullanılan ithal ve yerli sönüm denklemleri arasında bazı farklılıklar vardır. Türkiye deprem kayıtlarını kullanarak ülkemizdeki araştırmacıların (yerli) önerdiği denklemlerin bir kısmı gerçek deprem kayıtlarından bir miktar farklı ivme değeri (genelde yüksek ivme değeri) vermektedir (Şekil 15). Yabancı araştırmacıların önerdiği azalım bağıntılarının Türkiye’nin tektonik özelliklerini ne kadar yansıtabileceği tartışmalıdır. Türkiye’de 35° Doğu boyları boyunca, bazı sönüm denklemleri kullanılarak kaya için elde edilen pik yatay yer ivmesi değeri incelendiğinde; İnan vd. (1996) ile Aydan *et al.* (1996) sönüm denklemlerinin diğerlerine kıyasla daha yüksek ivme değeri verdiği görülmektedir (Şekil 15; Kayabalı and Akın 2003).



Şekil 15. Türkiye’de 35° D boylamı boyunca, yerli ve yabancı sönüm denklemlerinden, kaya ortam için elde edilen pik yer ivmesi değerleri (Kayabalı and Akın 2003)

İvme değerleri ile uyumluluklarını irdelemek amacıyla, yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından türetilen ve Türkiye’de de kullanılan sönüm denklemleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Sönüm denklemlerinin kıyaslanması amacıyla, Türkiye’de meydana gelmiş ve farklı uzaklıktaki ivmeölçerlerin kaydettiği, $M_w=5 (\pm 0,1 M_w)$ ve $M_w=6 (\pm 0,1 M_w)$ deprem verileri kullanılmıştır.

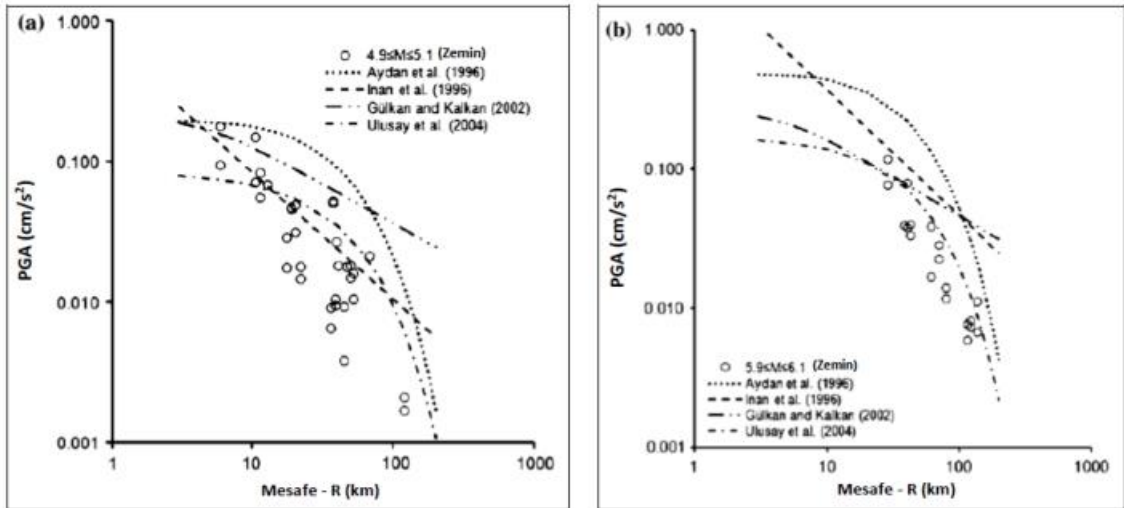
Türkiye’de DDB’ye bağlı KYHK cihazlarının ölçtüğü ivme değerleriyle Aydan *et al.* (1996), İnan vd (1996), Gülkan and Kalkan (2002) ve Ulusay *et al.* (2004) sönüm denklemleri karşılaştırılmıştır.

Yerli araştırmacıların önerdiği sönüm denklemleri kullanılarak hesaplanan ivme değerleri ile zemin (Şekil 16.a ve b) ve kaya (Şekil 17.a ve b) üzerine kurulu KYHK cihazlarının kaydettiği ivme değerlerinin grafik üzerinde karşılaştırması yapılmıştır (Kayabalı and Beyaz 2011).

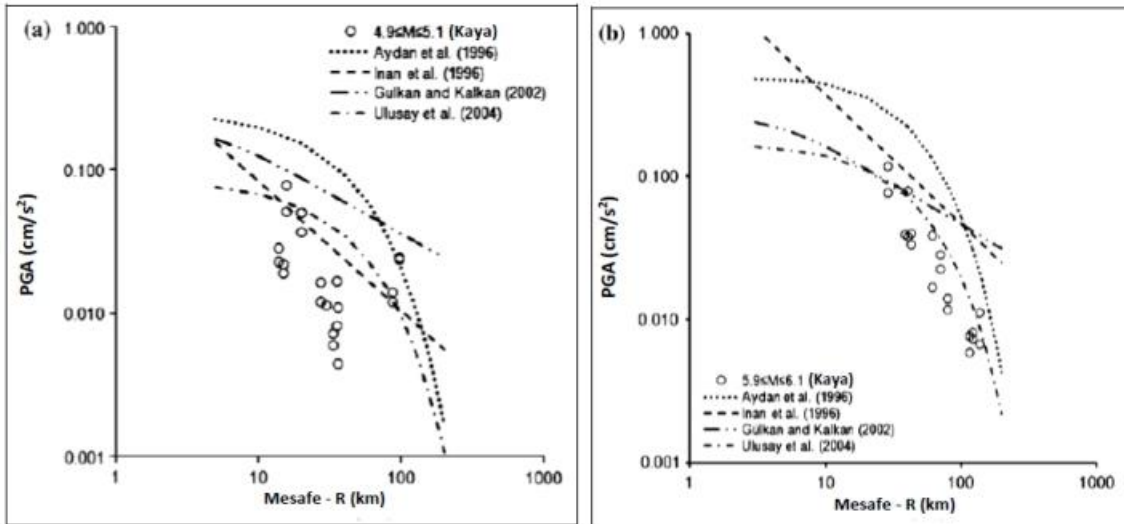
Aydan *et al.* (1996) ve İnan vd (1996) sönüm denklemleri, diğerlerine kıyasla daha büyük ivme değeri vermektedir (Şekil 16.a ve b).

6.5. Yabancı (ithal) Sönüm Denklemlerinin Karşılaştırılması

Şekil 15’e göre yabancı sönüm denklemleri, yerli denklemlere göre daha düşük ivme değerleri vermesine rağmen; Türkiye depremlerini temsil etmekten oldukça uzaktırlar. Yabancı azalım bağıntılarının, Türkiye’de kaydedilmiş deprem kayıtlarından farklı ivme değerleri vermektedir.

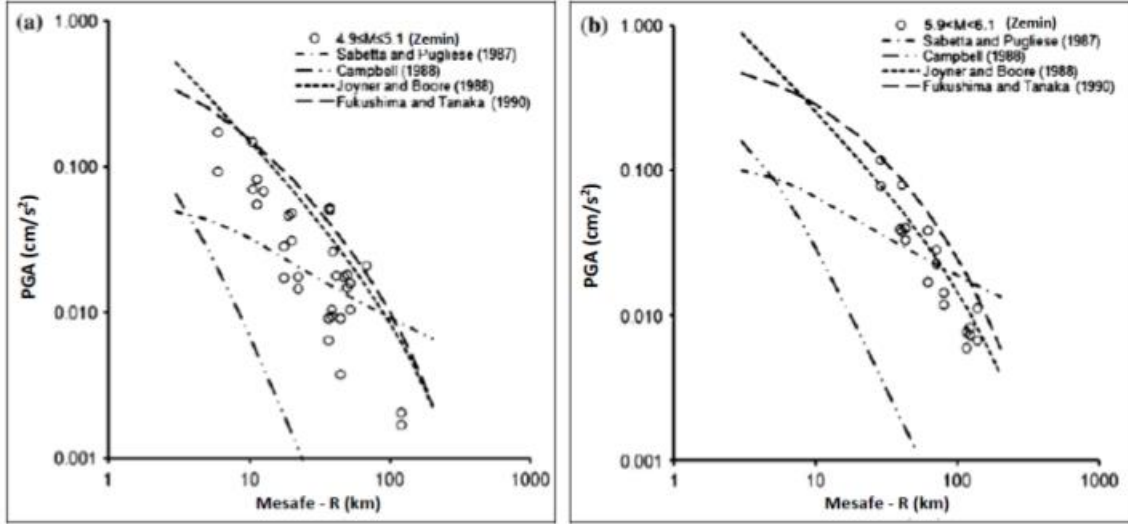


Şekil 16. Türkiye depremlerinden büyüklüğü a) $4.9 \leq M_w \leq 5.1$ ve b) $5.9 \leq M_w \leq 6.1$ arasında olan zemin kayıtları ile yerli araştırmacıların sönüm denklemlerinden elde edilen ivme değerlerinin karşılaştırılması (Kayabali and Beyaz 2011'den değiştirilerek alınmıştır)

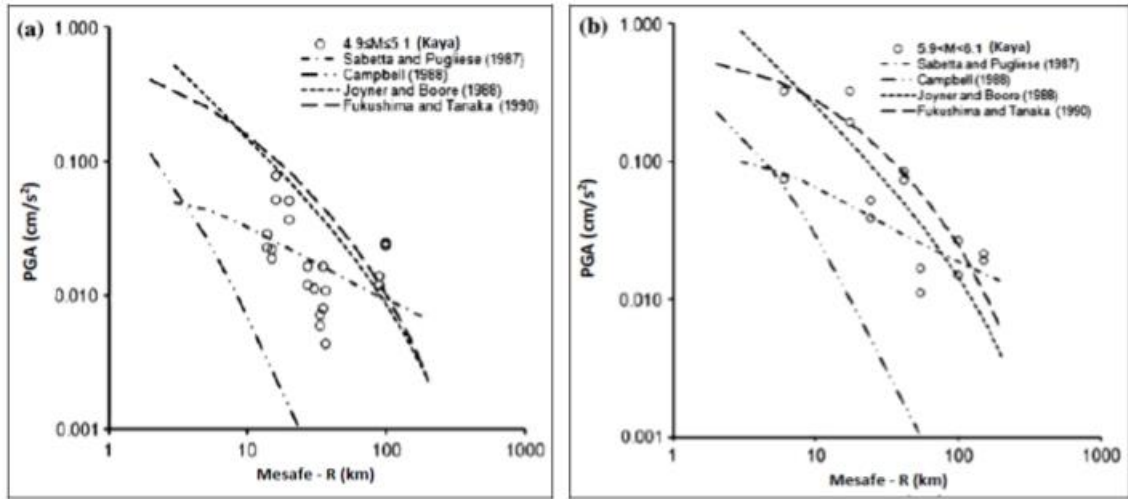


Şekil 17. Türkiye depremlerinden büyüklüğü a) $4.9 \leq M_w \leq 5.1$ ve b) $5.9 \leq M_w \leq 6.1$ arasında olan kaya kayıtları ile yerli araştırmacıların sönüm denklemlerinden elde edilen ivmelerin karşılaştırılması (Kayabali and Beyaz 2011'den değiştirilerek alınmıştır)

Yabancı araştırmacıların sönüm denklemleriyle, Türkiye'de ölçülmüş deprem kayıtları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Türkiye'de yaygın kullanılan; Campbell (1989), Joyner and Boore (1988), Fukushima and Tanaka (1990), Sabetta and Pugliese (1987) vb. sönüm denklemleri seçilmiştir. Bunlarla, AFAD-DDB tarafından i) zemin (Şekil 18.a ve 18.b) ve ii) kayada (Şekil 19.a ve 19.b) ölçülmüş, büyüklüğü a) $4.9 \leq M_w \leq 5.1$ ve b) $5.9 \leq M_w \leq 6.1$ arasında olan ivme kayıtlarıyla karşılaştırılmıştır (Kayabali ve Beyaz 2011).



Şekil 18. Türkiye depremlerinden büyüklüğü a) $4.9 \leq M_w \leq 5.1$ ve b) $5.9 \leq M_w \leq 6.1$ arasında olan zemin kayıtları ile yabancı araştırmacıların sönüm denklemlerinden elde edilen ivmelerin karşılaştırılması (Kayabali and Beyaz 2011’den değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 19. Türkiye depremleri içinden büyüklüğü a) $4.9 \leq M_w \leq 5.1$ ve b) $5.9 \leq M_w \leq 6.1$ arasında olan kaya kayıtları ile yabancı sönüm denklemlerinin karşılaştırılması (Kayabali and Beyaz 2011’den değiştirilerek alınmıştır)

Yapılan karşılaştırmada, Campbell (1989) tarafından önerilen deprem enerjisi azalım bağıntısı diğer denklemlere kıyasla, daha düşük ivme değeri vermektedir (Şekil 18 ve 19).

6.6. Van Gölü Havzası İçin Önerilecek Bölgesel Sönüm Denklemi İçin Magnitüd Türü

Bu çalışma kapsamında, doygunluk problemi olmayan tek magnitüd ölçeğinin moment magnitüdü (M_w) olduğu göz önüne alınarak; M_w yardımıyla sönüm denklemi

hazırlanması tercih edilmiştir. Literatürde, belirli yörelere özgü bölgesel deprem kayıtları kullanılarak oluşturulan magnitüd dönüşüm bağıntılarının bir başka yörede/alanda kullanılması önerilmemektedir (Stewart 1975, Nuttli *et al.* 1979, Kanamori and Anderson 1975, Munguía and Brune 1984, Zúñiga *et al.* 1988). Çeşitli araştırmacıların oluşturduğu bağıntılar, genelde yerel/bölgesel özellikleri yansıtır. Türkiye depremleriyle oluşturulan bağıntıların kullanılması tercih edilmiştir. Bu amaçla, Beyaz (2004) tarafından hazırlanan deprem kayıt arşivinden ve AFAD-DDB'nin arşivinden yararlanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan magnitüd dönüştürme bağıntıları aşağıdadır:

$$M_w = 0,76 M_L + 1,13 \quad (\text{Zaré and Bard 2002})$$

$$M_s = (M_D - 1,59) / 0,67 \quad (\text{Kalafat 2002})$$

$$M_s = 1,261 (\pm 0,093) M_D - 1,559 (\pm 0,428) \quad (\text{Yılmaztürk ve Bayrak 1997})$$

$$M_s = 1,112 (\pm 0,041) M_L - 0,779 (\pm 0,193) \quad (\text{Yılmaztürk ve Bayrak 1997})$$

$$M_s = 0,554 (\pm 0,171) M_w + 3,240 (\pm 0,227) \quad (\text{Yılmaztürk ve Bayrak 1997})$$

$$M_w = 0,7466 * (e^{0.2094 * M_L}) \quad (\text{Beyaz 2004})$$

AFAD-DDB'nin 1976-2019 arasında Van Gölü Havzasında kaydettiği depremlerin büyüklükleri, standart sağlamak amacıyla M_w büyüklüğüne dönüştürülmüştür. Bu amaçla çeşitli bağıntılar yardımıyla; $M \geq 4,0$ olan M_L , M_s ve M_D ölçeğindeki her bir depremin büyüklüğü, M_w büyüklüğüne dönüştürülmüş ve bir arşiv oluşturulmuştur (EK-1 ve EK-2). Buradaki veriler/bilgiler kullanılarak sönüm denklemi oluşturmak için istatistiksel çalışmalar yapılmıştır.

6.7. İstatistiksel Çalışmalar ile Sönüm Denklemi Hazırlanması

İstatistik çalışma aşamasında bağımlı ve bağımsız değişkenler belirlenmiştir. Ayrıca, bağımlı değişkenin dağılım özellikleri incelenmiş ve normal dağılıma uydurmak için ön çalışma yapılmıştır. Bu çalışmadaki esas parametre: pik yatay yer ivmesi, mesafe ve depremin büyüklüğü (magnitüdü)dür.

Bu çalışmada ivme, bağımlı değişken; magnitüd ve mesafe ise bağımsız değişkendir.

6.7.1. Çoklu regresyon analizi

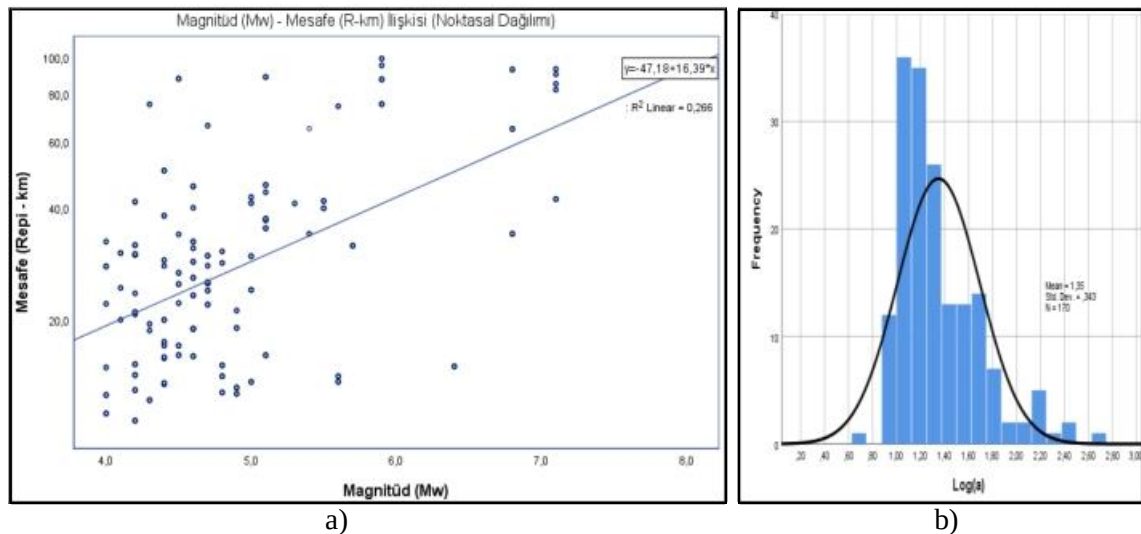
1976-2019 Yılları arasında ivmeölçerler tarafından kaydedilen depremlerin DB, KG yönlerdeki her iki yatay pik ivme kayıtları kullanılmıştır. Bu verilerle, IBM SPSS bilgisayar yazılımının deneme sürümünde “Çoklu Regresyon Analizi” yapılmıştır.

6.7.1.1. SPSS programı uygulaması

IBM-SPSS yazılımında veri girişi, çeşitli grafiklerin çizdirilmesi ve birçok istatistik hesaplama yaptırılabilir. Bunlardan biri de regresyon analizidir. Regresyon analiziyle, hazırlanan modellerde kullanılacak parametrelerin önem derecesi belirlenebilmektedir. Bu amaçla verilere F ve t-testleri uygulanmaktadır. Bu testler, tasarlanan modele katılan bütün değişkenlerin korelasyon katsayısını yani modele katkısını hesaplar. Modele katkısı az olan değişken çıkarılıp, model yeniden gözden geçirilir, analiz/önem düzeyi testleri tekrarlanır. Ancak, modelin güvenilirlik katsayısı azalmış ise modelin güncellenmesi/değiştirilmesi daha doğru bir yöntemdir.

IBM-SPSS yazılımında işlem yapmak için, veriler Windows ortamında hazırlanan veri dosyasına aktarılmıştır. Kullanılacak verilerin girişinden sonra “Data View” penceresindeki “Transform” menüsünde “Compute” komutuyla hesaplama işlemi yaptırılmıştır.

Veriler üzerinde hesaplatma işleminden sonra “Garphs” menüsündeki, “Scatter (plot)” komutuyla dağılım grafiği (Şekil 20.a), “Histogram” komutuyla da histogramı (Şekil 20.b) (ve ilgili dağılım eğrisi) çizdirilmiştir.



Şekil 20. Verilere ait a) mesafe (R)-magnitüd (M) noktasal dağılım grafiği ve b) pik yatay yer ivmesinin logaritmik $[\log(a)]$ değerlerine göre çizdirilen histogramı

Scatterplot komutuyla, birbiriyle ilişkisi araştırılan değişken çiftlerinin dağılım grafikleri çizdirilebilmektedir. Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin dağılım özellikleri ve aralarındaki ilişki belirlendikten sonra, regresyon analizine geçilir. Regresyon analizi sırasında, model denklemdaki parametrelerin dağılım grafikleri de çizdirilebilir. Regresyon analizi komutlarıyla elde edilen sonuçlar program tarafından oluşturulan Output dosyasına aktarılır (Çizelge 9). İstenirse, elde edilen sonuçlar farklı alternatifler kullanılarak tekrar hesaplatılabilir.

Çizelge 9. IBM-SPSS programı kullanılarak elde edilen regresyon analizi sonuçları

Variables Entered/Removed^b

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	LOGMES, ^a LOGMAG	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: LOGIVME

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.676 ^a	.458	.455	.307470

a. Predictors: (Constant), LOGMES, LOGMAG

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	38.189	2	19.094	201.977	.000 ^a
	Residual	45.284	479	9.454E-02		
	Total	83.472	481			

a. Predictors: (Constant), LOGMES, LOGMAG

b. Dependent Variable: LOGIVME

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-.275	.136		-2.022	.044
	LOGMAG	3.764	.217	.675	17.374	.000
	LOGMES	-.772	.044	-.677	-17.429	.000

a. Dependent Variable: LOGIVME

6.8. Sönüm Denleminin Elde Edilmesi

Her bölgenin yerel sismo-tektonik özellikleri farklı olacağı için, elastik enerji soğrulması da farklı olacaktır. Bu nedenle sönüm denklemlerinin bir başka yerde kullanılması tavsiye edilmemektedir (Trifunac and Brady 1975). Her sismo-tektonik

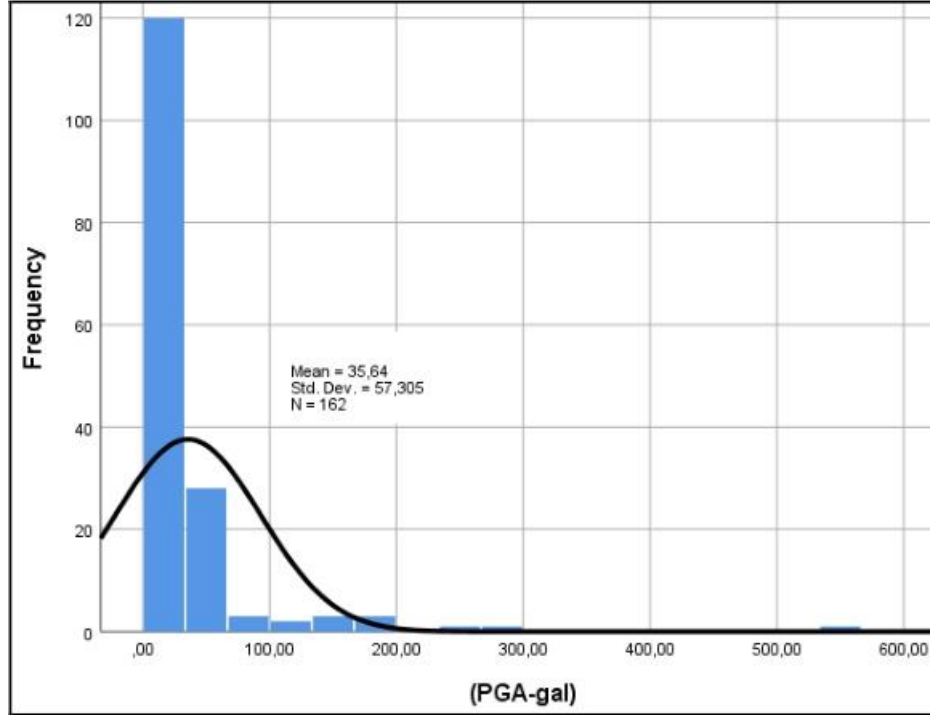
bölgenin jeolojik özelliklerine ve meydana gelen deprem verilerine göre kendine has sönüm denklemlerinin oluşturulması gerekir.

Geçmişte yapılan bütün çalışmalarda; zemin büyütmesine vurgu yapılmaktadır (Trifunac 1976, Roësset 1977, Campbell 1981, Joyner and Boore 1981, Campbell 1989). Ancak, zemin etkisi ya göz ardı edilmekte (Bolt and Abrahamson 1982, Gaul 1988, Ambraseys 1990), ya zeminden alınan kayıt kullanılmamakta ya da zemin kayıtları bir katsayıyla çarpılarak değeri küçültüldükten sonra kullanılmaktadır (Trifunac and Brady 1976, McGuire 1978, Joyner and Fumal 1984, Sabetta and Pugliese 1987, Krinitzsky *et al.* 1988, Zaré and Bard 2002). Son yıllarda yapılan bazı deprem enerjisi azalım bağıntısı çalışmalarında, yüzeyden derine doğru zeminin ilk 30 metrelik kısmındaki S dalgası iletme hızı (V_s) jeoteknik ölçümlerle belirlenerek -gerçek zemin verileri- kullanılmıştır (Zaré *et al.* 1999, Lussou *et al.* 2001, Atkinson and Boore 2003, Campbell and Bozorgnia 2003). Bu çalışma kapsamında AFAD-DDB'nin KYHK istasyonları zeminlerinde yaptıkları V_{s-30} ölçümlerine dayanarak, zemin sınıfı tanımlaması yapılmaya çalışılmıştır. Bu şekilde yapılan çalışmalarla, KYHK cihazlarının zeminini oluşturan tabakaların kesme dalgası hızlarının gerçek değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma sırasında, 1976 ile 2019 yılları arasında oluşmuş ve kuvvetli yer hareketi kayıtları tarafından; DB (Doğu-Batı), KG (Kuzey-Güney) ve z (düşey) yönlerde alınmış deprem kayıtlarından sadece yatay (DB ve KG) yönlerdeki iki bileşenin pik yatay yer ivmesi kayıtları kullanılarak çoklu regresyon analizi ile sönüm denklemi ve/veya modeli oluşturulmaya çalışılmıştır.

Mevcut deprem kayıtlarının ivme, mesafe ve magnitüd bilgileri düzenlenerek oluşturulan katalog yardımıyla istatistiksel yorumlamalara geçilmiştir. Deprem verilerinin istatistiksel değerlendirmesini yapabilmek için, bağımlı değişken olan pik yatay yer ivmesinin dağılım özellikleri araştırılmış ve normal dağılıma uymadığı gözlenmiştir (Şekil 21).

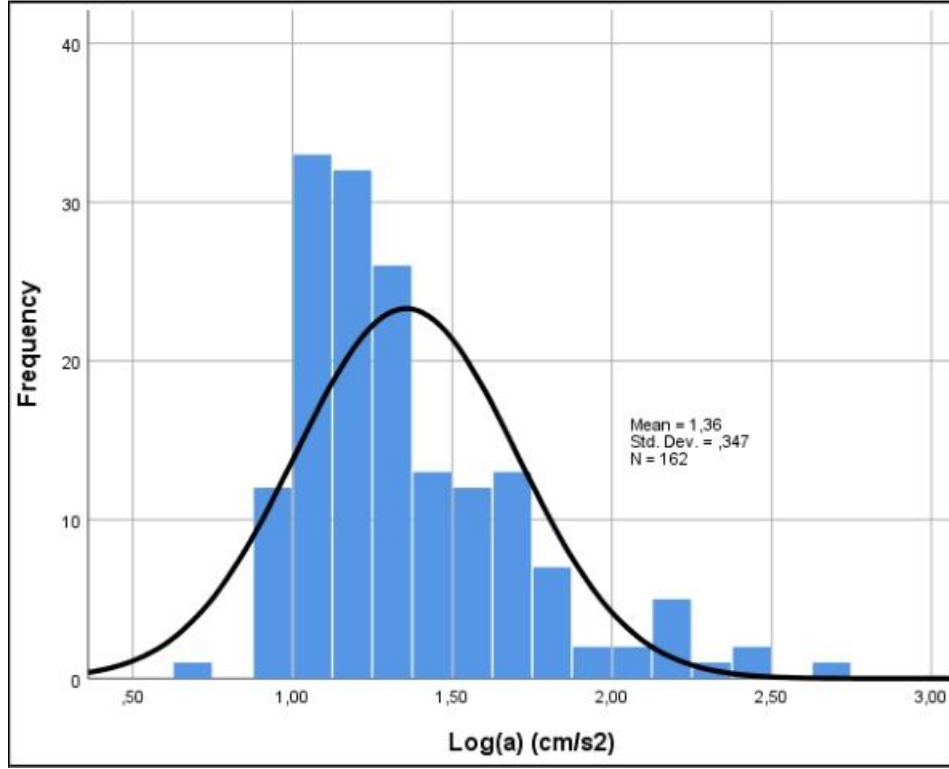
Büyük depremler, uzun faylar için, $\log_{10}A_0(R)$ -grafik- eğimini normalleştirir. Ancak, deprem dış merkezine yakın mesafedeki küçük magnitüdlü sarsıntılar büyük açılı negatif eğimlere neden olurlar (Trifunac and Brady 1975, Trifunac 1976 ve Trifunac and Brady 1976).



Şekil 21. SPSS’de pik yatay yer ivmesi değerlerinin dağılım histogramı; normal dağılıma uymaması

Bazı araştırmacılar da deprem üreten fayların hareket mekanizmalarına göre; ürettikleri depremlerden elde edilen parametreleri birer katsayı yardımıyla normalleştirme yolunu tercih etmişlerdir (Campbell 1989, Krinitzsky *et al.* 1988, Youngs *et al.* 1988, Abrahamson and Litehiser 1989, Fukushima and Tanaka 1990, Idriss 1993, Campbell 1997).

Kramer (1996)’e göre; “kuvvetli hareket parametrelerinin pik değerleri yaklaşık olarak log-normal dağılım gösterir (yani, parametrelerin logaritması yaklaşık olarak normal dağılım gösterir). Sonuçta regresyon analizi, Y’nin kendisi üzerinde değil de logaritması üzerinde yapılır.” Türkiye’de oluşmuş depremler için yapılan çalışmalarda, bağımlı değişken olan pik yatay yer ivmesi değerinin çarpıklığının giderilebilmesi ve normal dağılıma uydurulabilmesi için yapılan ön çalışmada; log(ivme) değerlerinde en iyi şekilde normal dağılıma uyduğu gözlenmiştir (Şekil 22). Bu aşamada, önce birbirinden farklı sönüm modelleri oluşturulmuş; oluşturulan model denklemler, hem normal, hem de log(a) değerlerine göre düzenlenmiştir. Sayısal verilere göre, log(a) dağılımının daha yüksek tepe değeri verdiği görülmektedir.

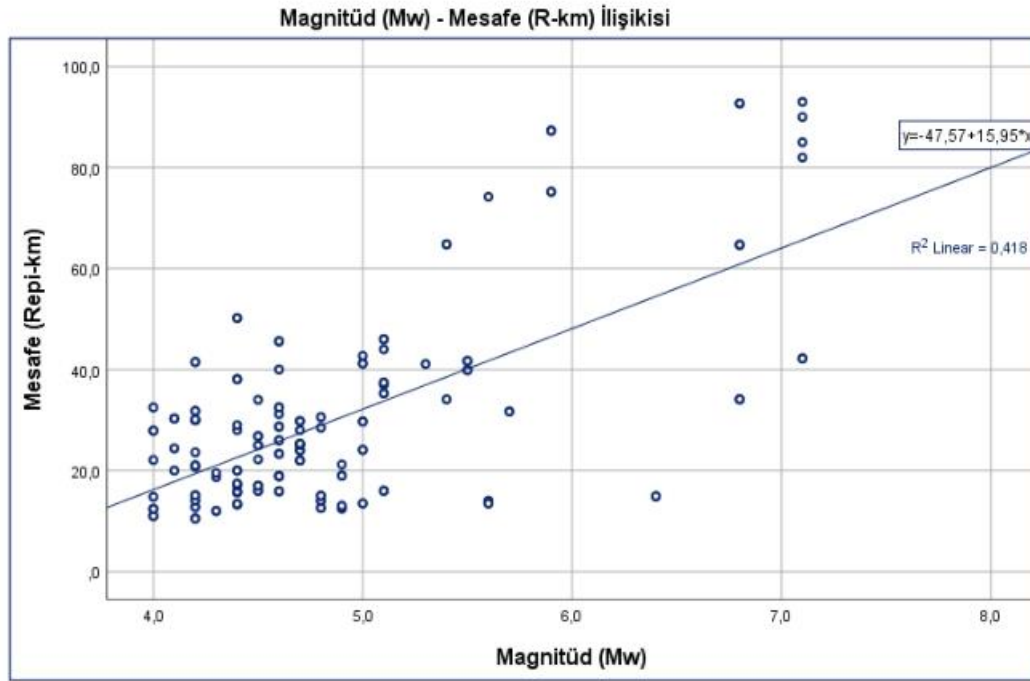


Şekil 22. Bağımlı değişkenin log-normal dağılım grafiği

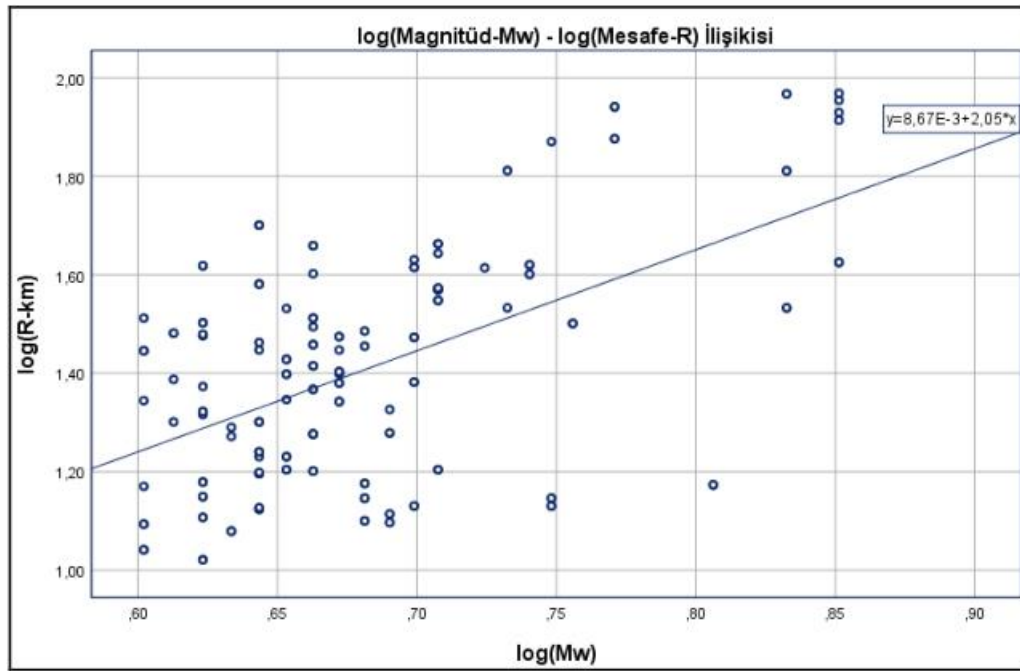
Ayrıca, yayınlanan önceki çalışmalarda genelde log-normal dağılım üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bunun yanı sıra daha pratik olması ve grafik gösterimlerine göre istatistik açıdan daha uygun olduğu gözlemlendiği için log-normal hesaplamalar üzerinde detaylı model çalışmaları yapılmıştır. Yine de araştırmanın kontrollü gidişine devam edebilmek için, oluşturulan logaritmik modellerden üç tanesi seçilerek; hem log, hem de ln değerlerine göre model oluşturularak, elde edilecek katsayılarla göre iki hesaplama yöntemi arasında kıyaslama yapılması amaçlanmıştır.

Mesafe ile magnitüd değerleri arasında bir ilişki olup-olmadığını belirlemek için mesafe-magnitüd değerlerine ait dağılım grafiği incelendiğinde; aralarında pozitif bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 23). Grafiğe göre uzak mesafelere ulaşabilen deprem dalgaları büyük magnitüdü depremlerdir.

Şekil 23'deki "mesafe-magnitüd grafiği" yakından incelendiğinde, magnitüd değeri arttıkça deprem dalgalarının daha uzak mesafelere ulaşabildiği görülür. Bu grafik üzerinde yapılan denemelerde; mesafe ve magnitüdün log-normal değerlerinde eğim değerinin sabitlendiği görülmüştür (Şekil 24).

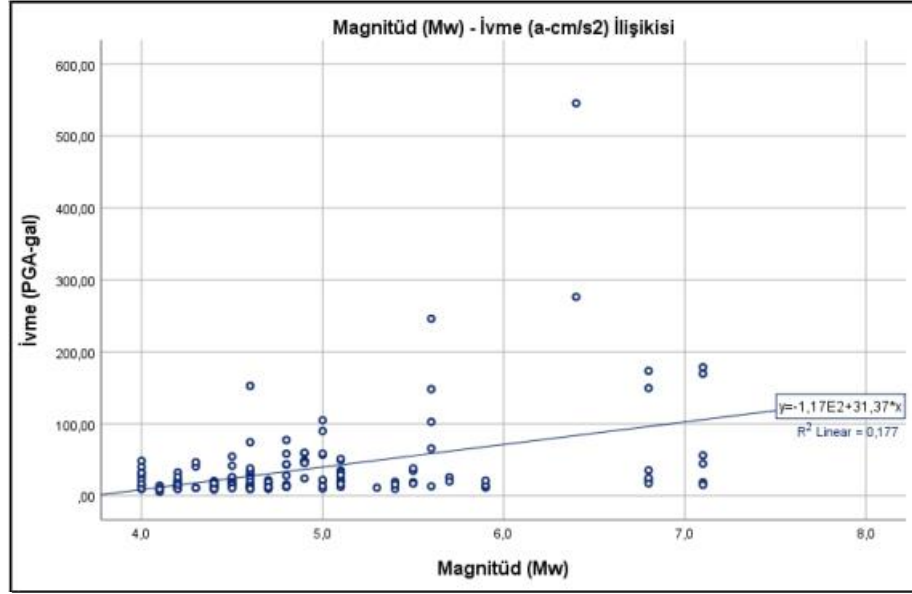


Şekil 23. Mesafe (R)-magnitüd (M) grafiği (normal değerleriyle)



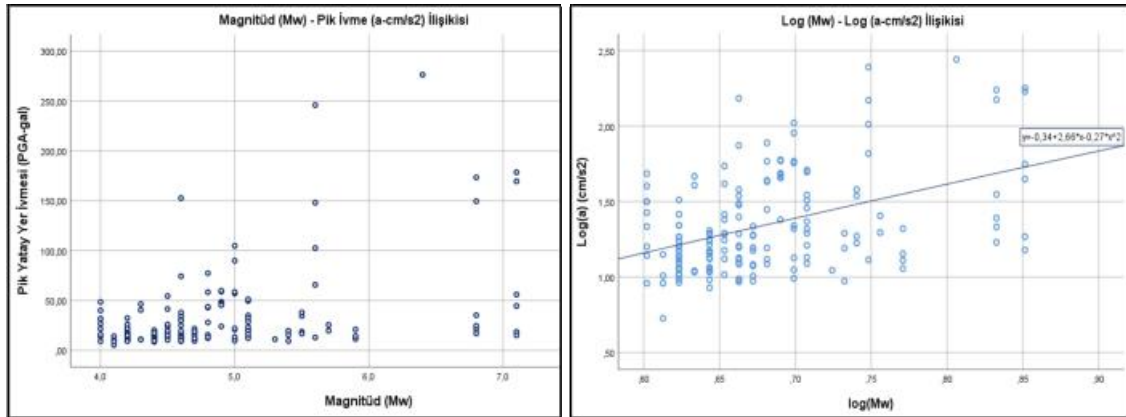
Şekil 24. Log(R) – log(M) grafiği

Pik yatay yer ivmesi ve magnitüd arasındaki ilişkinin belirlenmesi için yine normal değerlere göre dağılım grafiği incelenmiş ve dağılım grafiğinde aralarında pozitif bir ilişkinin olduğu gözlenmiştir (Şekil 25).



Şekil 25. Pik yatay yer ivmesi-magnitüd dağılım grafiği (normal değerlere göre)

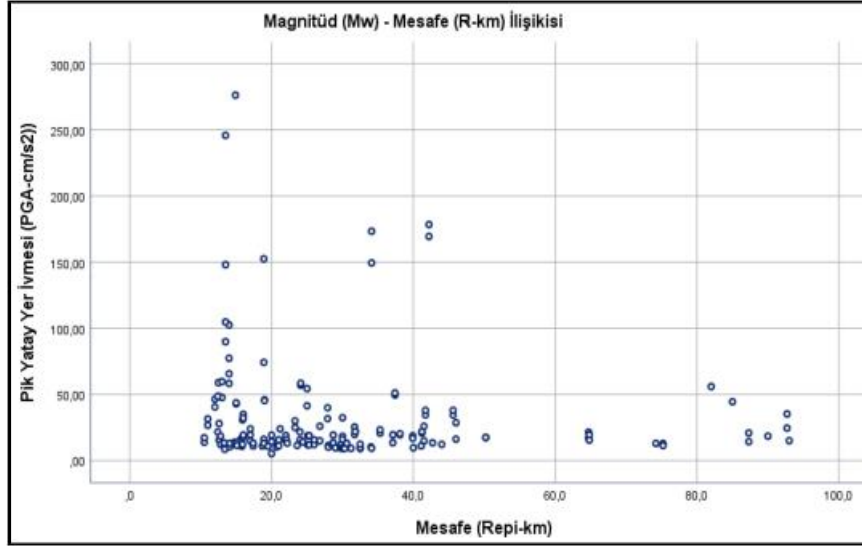
Pik yatay yer ivmesi-magnitüd grafiğini normal dağılıma uydurabilmek için yapılan denemeler sonucunda log-normal dağılıma uyduğu belirlenmiştir (Şekil 26).



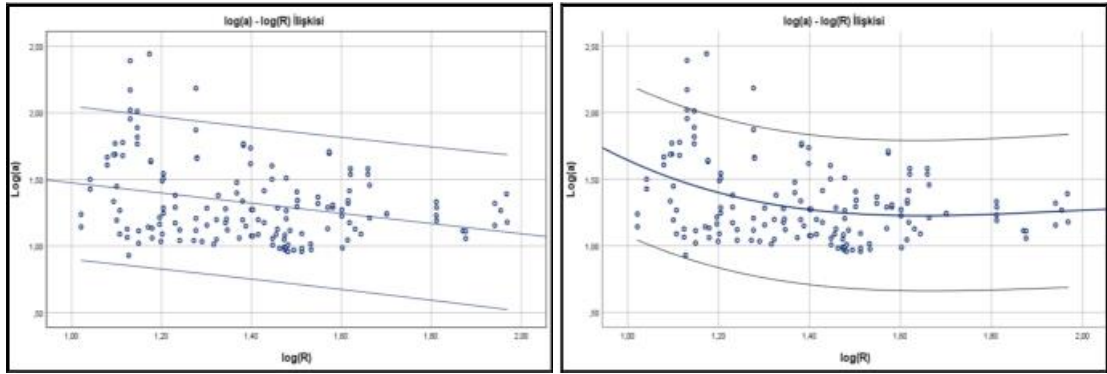
Şekil 6.24. Log(ivme)-log(magnitüd) dağılım grafiği

Pik yatay yer ivmesi ve mesafe değerleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi için de yine normal değerlere göre dağılım grafiği incelenmiş ve aralarında negatif bir ilişkinin olduğu gözlenmiştir (Şekil 27).

Pik yatay yer ivmesi ve mesafe arasındaki ilişkiyi de yine normal dağılıma uydurabilmek için çalışmalar yapılmıştır. İvme ve mesafe değerlerinin logaritmik karşılığı ile % 95 güven aralığında çizdirilen grafik incelendiğinde; “log(a) ve log(R)” değerlerinin normal dağılıma uyduğu gözlenmiştir (Şekil 28).



Şekil 27. Pik yatay yer ivmesi-mesafe dağılım grafiği (normal değerlere göre çizdirilmiştir ve noktaların dağılımının daha belirgin görülebilmesi amacıyla eksenlerde negatif değerler kullanılmıştır)



Şekil 28. % 95 güven aralığında çizdirilen $\log(a)$ - $\log(R)$ dağılım grafiği a) doğrusal eğri, b) kübik eğri (içteki eğri ortalamayı, diğer eğriler alt ve üst eşik değeri göstermektedir)

Kullanılan değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkileri belirlendikten sonra değişkenlere çoklu regresyon analizi uygulanmıştır. Çoklu regresyon analizi yapılırken ivme, mesafe ve magnitüd değişkenlerinin logaritmik değerleri kullanılmıştır.

Deprem dalgaları mesafeye bağlı yayılmaları sırasında başka faktörlerden etkilenebilirler. Deprem dalgalarına etki eden değişik faktörleri model çalışmalarında kullanılacak herhangi bir düzeltme değeriyle nötürleştirmek -dolayısıyla modelin güvenilirliğini arttırmak- amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Düzeltme katsayısı kullanılarak birkaç farklı sönüm denklemi modeli üzerinde çalışma yapılmıştır. Uygulanan düzeltme değerlerinin bağımsız değişkenler türünden ifade edilmesi tercih edilmiştir. Bu amaçla bağımsız değişkenlerin farklı özellikleri göz önüne alınarak en anlamlı düzeltme değeri belirlenmeye çalışılmıştır. Belirlenen birkaç düzeltme değeri kullanılarak oluşturulan farklı modeller üzerinde çalışılmıştır.

Bir sönüm denklemi oluşturulurken dikkate alınması gereken hemen hemen bütün özellikler göz önüne alınarak çok sayıda deneme modelleri oluşturulmuştur. Bunların güvenilirlikleri test edilerek güven aralıkları düşük olanlar elenmiş, güvenilirliği yüksek olanlar üzerinde ayrıntılı çalışılmıştır.

Deprem enerjisi azalım denklemi oluşturma aşamasında türetilen modellerin bir bölümünden vazgeçilmiştir. Farklı 16 model denklem üzerinde detay çalışılmıştır (Çizelge 10) ve bu 16 model denklem M_w , M_L ve M_s büyüklük ölçeklerinde ayrı ayrı işleme tabii tutulmuş, kullanılan değişkenlerin ve düzeltme değerlerinin katsayıları SPSS bilgisayar paket programı kullanılarak yapılan hesaplamalarla belirlenmiştir.

Çizelge 10. Sönüm denklemi oluşturulması amacıyla türetilen model denklemler

No	Üzerinde Çalışılan Denklem Modelleri
1	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}R + \beta_2 \text{Log}M + \varepsilon$
2	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(R+3) + \beta_2 M + \varepsilon$
3	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 (1/R^2) + \beta_2 \text{Log}R + \beta_3 M + \varepsilon$
4	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}R + \beta_2 M + \beta_3 \text{Log}(M_2) + \varepsilon$
5	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 R + \beta_2 \text{Log}R + \beta_3 (M_2) + \beta_4 \text{Log}M + \varepsilon$
6	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 R + \beta_2 \text{Log}R + \beta_3 \text{Log}M + \varepsilon$
7	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 M_2 + \beta_2 \text{Log}(R+7) + \varepsilon$
8	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 M_2 + \beta_2 \text{Log}((R_2+100)^{0.5}) + \beta_3 \text{Log}(R+1) + \varepsilon$
9	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 M_2 + \beta_2 \text{Log}(R+1) + \varepsilon$
10	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 M + \beta_2 \text{Log}((R_2+100)^{0.5}) + \beta_3 R + \varepsilon$
11	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(R+3) + \beta_2 (10^M) + \beta_3 \text{Log}(e^M - M) + \varepsilon$
12	$\text{Log}Y = 10 (\beta_0 + (\beta_1 M^2)) + (\beta_2 (\text{Log}(R+3)) + \varepsilon$
13	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(M_2) + \beta_2 \text{Log}(R+2) + \varepsilon$
14	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(R+1) + \beta_2 (10^M) + \beta_3 \text{Log}(M+2) + \varepsilon$
15	$\text{Log}Y = 10 (\beta_0 + (\beta_1 M^2)) + (\beta_2 (\text{Log}((1/M^2)^{0.5})) + (\beta_3 (\text{Log}(R+1))) + (\beta_4 (\text{Log}(R^2)^{0.5})) + \varepsilon$
16	$\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 \text{log}M + \beta_2 (10^M) + \beta_3 \text{log}(R + 3) + \varepsilon$

Çizelge 10'da sıralanan model denklemlerin katsayılarını belirleyebilmek için farklı magnitüd, mesafe ve ivme özelliklerinde (Çizelge 11) veriler derlenerek; IBM SPSS yazılımında çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda test edilen her bir modelin değişkenleri belirlendikten sonra grafik çalışmalarla nihai modele karar verilmiştir.

Çizelge 11. Mw için model çalışmasında kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri

Magnitüd (Mw)	Mesafe (R - km)	İvme (a - cm/s ²)	Yatay ivme seçimi	Veri sayısı (N)
4,0≤Mw≤7,2	10<R≤100	5,0≤a	DB-KG ikisi beraber	528
4,0≤Mw≤7,2	0<R≤100	10≤a	DB-KG ikisi beraber	358
4,0≤Mw≤7,2	0<R≤100	5,0≤a	(DB+KG)/2 (Ortalama)	264
4,0≤Mw≤7,2	10<R≤100	10≤a	(DB+KG)/2 (Ortalama)	162
4,0≤Mw≤7,2	0<R≤100	5,0≤a	DB - KG en büyük olan	264
4,0≤Mw≤7,2	0<R≤100	10≤a	DB - KG en büyük olan	212

Bu çalışma kapsamında çok sayıda denklem modeli IBM-SPSS programında denenmiştir. Tasarı aşamasındaki modeller “en küçük kareler yöntemine” göre test edilmiş ve istatistikî açıdan karşılaştırılmıştır. Elemeler sonucunda, 3 (üç) farklı model üzerinde tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.

1. $\text{Log}Y = \beta_0 + \beta_1 M_2 + \beta_2 \log(R+1) + \varepsilon$
2. $\text{Log}Y = 10(\beta_0 + (\beta_1 M^2)) + (\beta_2(\log(R+3)) + \varepsilon$
3. $\text{Log}Y = 10(\beta_0 + (\beta_1 M^2)) + (\beta_2(\log((1/(M^2))^0.5))) + (\beta_3(\log(R+1))) + (\beta_4(\log(R^2)^0.5)) + \varepsilon$

Yukarıda sıralanan modeller üzerinde yapılan detaylı çalışmalar sonucunda;

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

$$\beta_0 = 2,173$$

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

$$\beta_2 = 0,1967$$

$$\beta_3 = -1,201$$

$$\beta_4 = 0,1105$$

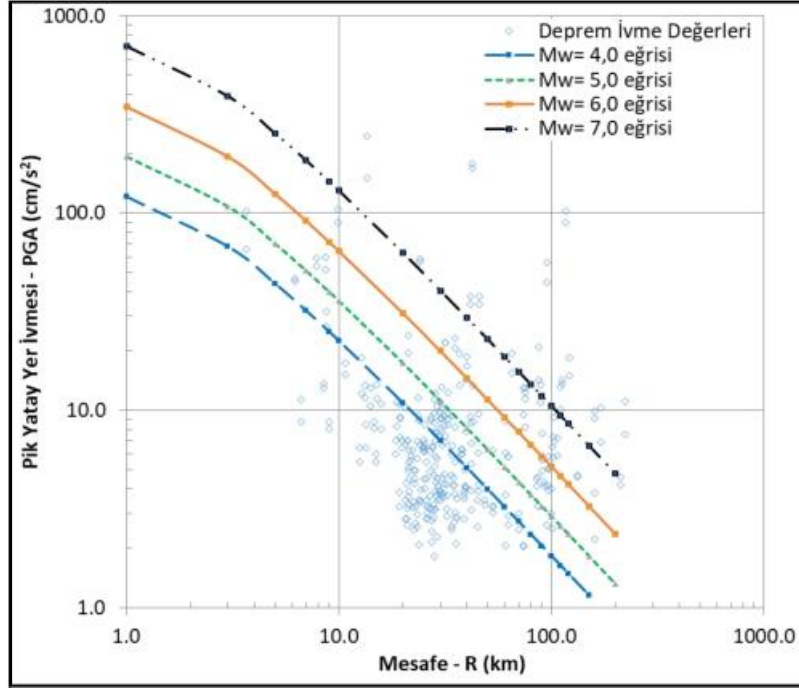
$$\sigma = 0,308$$

Y = önerilen denklem yardımıyla hesaplanan pik yatay yer ivmesi (gal = cm/s²)

M = moment magnitüdü (Mw)

R = mesafe (km)

denkleminin Van Gölü Havzası için bölgesel deprem enerjisi azalım bağıntısı (sönüm denklemi) olarak önerilmesinin uygun olacağı benimsenmiştir. Bu denklem kullanılarak (R=1-200 km mesafe; Mw=4.0, 5.0, 6.0 ve 7.0 büyüklükleri için) ivme azalım eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler, Van ve çevresinde meydana gelmiş 4,0≤Mw≤7,2 büyüklüğündeki gerçek depremlerin ivme değerleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 29).



Şekil 29. 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) (İçerik boş halkalar: gerçek deprem kayıtlarındaki ivme değerlerini; Çizgiler: önerilen denklemlerle hesaplanan ivme değerlerini temsil etmektedir).

Daha sonra, önerilen sönüm denklemi modelinin;

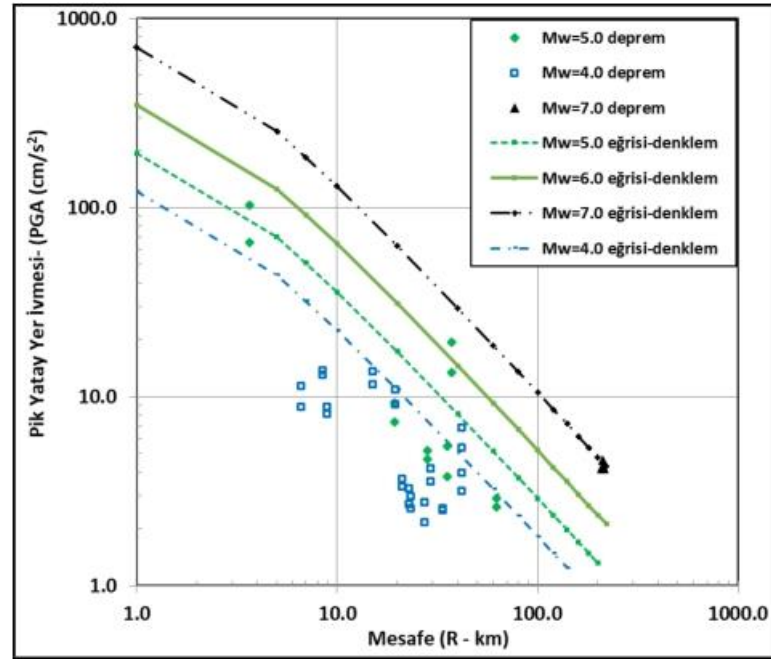
- sert zemin üzerinden ölçülmüş (Şekil 30),
- orta sıkılıktaki zemin üzerinde alınmış (Şekil 31) ve
- zayıf/gevşek zeminlerde ölçülmüş (Şekil 32)

deprem kayıtlarının olduğu grafikler üzerinde karşılaştırması yapılmıştır.

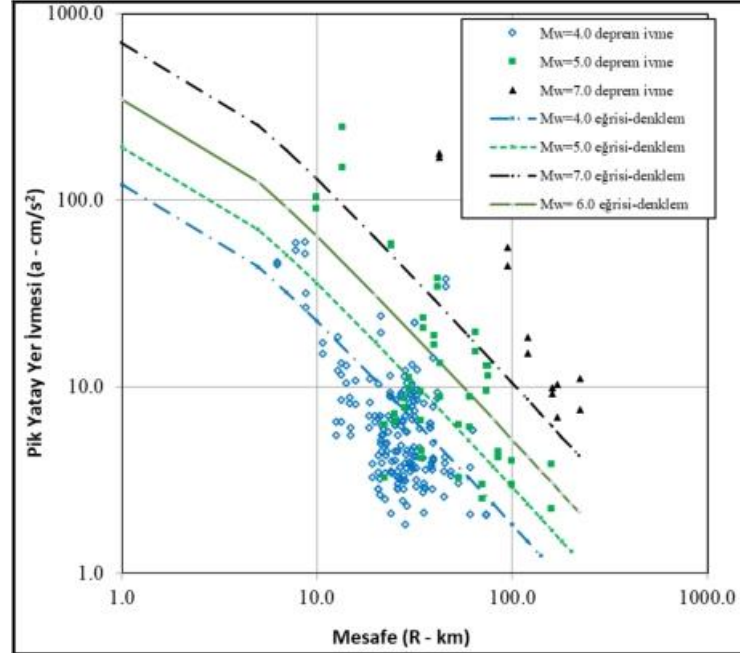
Sonuçta önerilen modelin KYHK istasyonlarının ölçtüğü kaya ve zemin üzerindeki deprem kayıtları ile kıyaslanmasıyla elde edilen grafikler incelendiğinde;

a) Önerilen azalım bağıntısı, Van Bölgesinde sert-orta zemin üzerine konuşlandırılmış KYHK istasyonlarının ölçtüğü deprem kayıtlarına göre çizdirilen grafikte pik yatay yer ivmesi değerlerini temsil eden noktalarla uyumluluk göstermektedir (Şekil 29 ve 30).

b) Oluşturulan (ve önerilen) sönüm denklemi, zemin üzerine konuşlandırılmış KYHK istasyonlarının ölçtüğü orijinal deprem kayıtlarına göre çizdirilen grafikte;

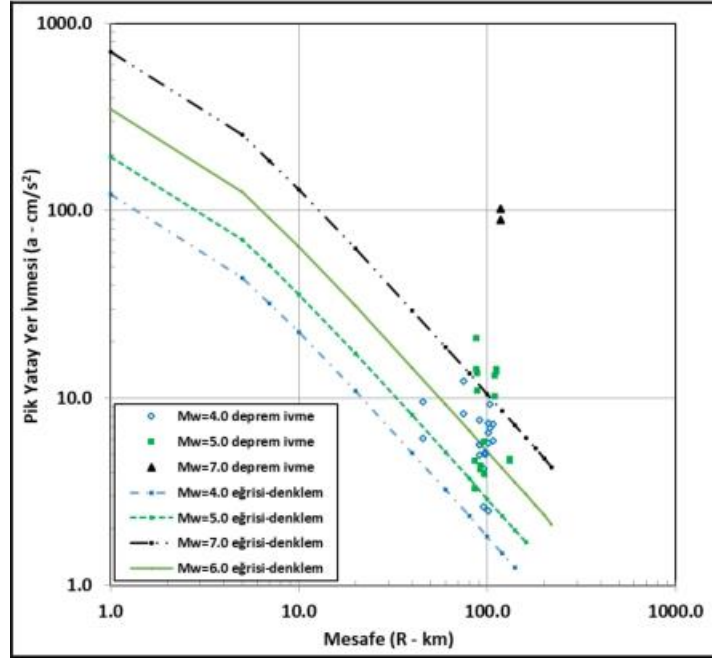


Şekil 30. Van Gölü Havzası için önerilen sönüm denkleminin, Van ve çevresinde meydana gelmiş $4,0 \leq M_w \leq 7,2$ büyüklüğündeki depremlerin yatay ivme değerleriyle karşılaştırılması (AFAD-DDB kayıtlarıdır. ZB ve ZC sınıfı zemin kayıtlarıdır) (İçi boş-dolu noktalar: gerçek deprem kayıtlarındaki ivme değerlerini; Çizgiler: önerilen denklemlle hesaplanan ivme değerlerini temsil etmektedir).



Şekil 31. 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. ZD sınıfı zemin kayıtlarıdır) (İçi boş-dolu noktalar: gerçek deprem kayıtlarındaki ivme değerlerini; Çizgiler: önerilen denklemlle hesaplanan ivme değerlerini temsil etmektedir).

$M_w=4,0; 5,0; 6,0; 7,0 (\pm 0,1 M_w)$ olan depremlerin pik yatay yer ivmesi değerleriyle temsil eden noktalardan daha aşağıda görülmektedir. Bu durum; sönüm denklemi oluşturulması sırasında kullanılan deprem verilerinin yeteri sayıda olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 32. 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. ZE sınıfı zemin kayıtlarıdır) (İçi boş-dolu noktalar: gerçek deprem kayıtlarındaki ivme değerlerini; Çizgiler: önerilen denklemle hesaplanan ivme değerlerini temsil etmektedir).

c) Ekim 2011'de Van'da meydana gelen $M_w=7,2$ büyüklüğündeki depremin Van merkezde ivmeölçer kaydı, teknik bazı aksaklıklar nedeniyle ölçülememiştir. Bu tür teknik aksamalar, bazı çalışmalar için önemli veri eksikliklerine neden olabilmektedir.

d) AFAD-DDB, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde yaptığı değişiklikle deprem kayıt cihazlarının kurulu olduğu alanlardaki zemin sınıfı tanımlamasını değiştirmiştir. Bunun bir yansıması olarak, yerel zemin tanımlamaları ile KYHK istasyonları zeminlerinin tasnifi ile ilgili yeterli düzenleme yapılamamıştır. Bu çalışmaların yetkili kurum/kuruluşlar tarafından tamamlanmasına bağlı olarak; bu tezdeki yanılsamalar da giderilmeye çalışılacaktır.

7. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması sonucunda, Van Gölü Havzası için bölgesel bir deprem enerjisi azalım bağıntısı (diğer bir ifadeyle, deprem enerjisi sönüm denklemi) geliştirilmiştir.

Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları kullanılarak hazırlanan bu denklemin geliştirilmesi için, model alınması amacıyla birçok alternatif denklem türetilmiştir. Bunlar içerisinde gerçek deprem kayıtları ile örtüşen denklemin, bu bölge için kullanılabileceğine karar verilmiştir.

Van gölü havzası için önerilen sönüm denklemi;

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

$$\beta_0 = 2,173$$

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

$$\beta_2 = 0,1967$$

$$\beta_3 = -1,201$$

$$\beta_4 = 0,1105$$

M: moment magnitüdü (M_w),

R: mesafe (km)

$$\sigma = 0,308$$

Y = önerilen denklem yardımıyla hesaplanan pik yatay yer ivmesi (cm/s²),

denkleminin Van Gölü Havzası için bölgesel deprem enerjisi azalım bağıntısı (sönüm denklemi) olarak önerilmesinin uygun olacağı benimsenmiştir.

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 (oluş) periyotları göz önüne alındığında, 43 yılda oluşmuş depremlerin, bölgenin depremselliğini tam anlamıyla yansıtamayacağı unutulmamalıdır. Van Gölü Havzasında depremler oluştukça, kullanılabilecek deprem verisi artacaktır. Sonraki yıllarda meydana gelebilecek deprem verileri de kullanılarak, önerilen azalım bağıntısının güncellenmesi gerekmektedir.

Bu tez kapsamında önerilen sönüm denklemi Van Gölü Havzasında meydana gelmiş depremlerin ivme verileriyle uyumlu eğriler vermektedir. Ancak, daha çok sayıda veriyle güncellenecek sönüm denkleminin hassasiyeti artmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abrahamson, N.A. and Litehiser, J.J. 1989. Attenuation of vertical peak acceleration. BSSA., 79 (3), 549–580.
- 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 jeoloji. 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).
- 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 Mw7.0 Van (Eastern Turkey) Earthquake: Interpretations of Recorded Strong Ground Motions and Post Earthquake Conditions of Nearby Structures. Earthquake Spectra, 30 (2), 657-682.
- Aki, K. 1966. Generation and propagation of G-waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964. Part 2. Estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from the G-wave spectrum. Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo Univ., 44, 73-88.
- Akhun, İ. 1979. Temel istatistiksel kavramlar. Ankara.
- Aksoy, E., 1988. Van ili doğu-kuzeydoğu yöresinin stratigrafisi ve tektoniği. Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Elazığ, 171 s (yayımlanmamış).
- Alpar, R. 2003. Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemlere giriş-1. Nobel Kitabevi, 411 s., Ankara.
- Apaydın, A., Kutsal, A. ve Atakan C. 2002. Uygulamalı istatistik. Kılavuz Paz. Tic. ve San. Ltd. Şti., 496 s., Ankara.
- Ambraseys, N. N. 1990. Uniform magnitude re-evaluation of European earthquakes associated with strong-motion records. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19(1), 1–20.
- Ambraseys, N. N. and Bommer, J. J. 1991. The attenuation of ground accelerations in Europe. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 20(12), 1179–1202.
- Ambraseys, N. N. 1995. The prediction of earthquake peak ground acceleration in Europe. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 24(4), 467–490.
- Ambraseys, N. N. and Simpson, K. A. 1996. Prediction of vertical response spectra in Europe. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25(4), 401–412.
- Ambraseys, N. N. and Jackson, J.A. 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. Geophys. J. Int., 133, 390-406.

- Ambraseys, N. and Douglas, J. 2000. Reappraisal of the effect of vertical ground motions on response. ESEE Report 00-4. Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College, London.
- Andreasyan, H. 1970. Ermeni Kaynaklarından Derlenmiş Deprem Listesi. Yayınlanmamış, Prof. Dr. H. Soysal Arşivi, İstanbul.
- Andreasyan, H. 1973. XIV. ve XV. Yüzyıl Türk Tarihine ait Ufak Kronolojiler, Kolofanlar. İÜ, Edb. Fak., Tarih Ens. Dergisi, Sayı 3, İstanbul.
- Apaydın, A., Kutsal, A. ve Atakan, C. 2002. Uygulamalı istatistik. Kılavuz Paz. Tic. ve San. Ltd. Şti., 496 s., Ankara.
- Arıncı, R. 1945. Arzda ve Yurdumuzda Zelzele Bölgeleri. Çorumlu Mecmuası, Çorum Halkevi Yayını, Yıl: 4, Sayı: 29, Çorum.
- Atkinson, G. M., and Boore, D. M. 2003. Empirical ground-motion relations for subduction zone earthquakes and their application to Cascadia and other regions. BSSA, 93 (4).
- Aydan, Ö., Sedaki, M. and Yazar, 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.
- Båth, M. 1973. Introduction to Seismology. Birkhäuser Verlag, 395 p., Basel and Stuttgart.
- Bayrak, Y. ve Yılmaztürk, A. 1999. Global depremlerin cisim ve yüzey dalgası magnitüdüleri arasındaki ilişkilerin karşılaştırılması. Deprem Araştırma Bülteni, 81, 112-124, Ankara.
- 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 (yayınlanmamış), 271 s., Ankara.
- Bolt, B. A. and Abrahamson, N. A. 1982. New attenuation relations for peak and expected accelerations of strong ground motion. BSSA, 72 (6), 2307–2321.
- Bolt, B. A. 1989. The nature of earthquake ground motion, in F. Naeim, ed., The seismic Design Handbook, Van Nostrand Reinhold, NY.
- Bolt, B. A. 1993. Earthquakes. W.H. Freeman, 331 p., N.Y.
- Boore, D. M. 1977. The motion of the ground during earthquakes. Scientific American, 237 (6), 66-78.
- Boore, D. M., Joyner W. B. and Fumal, T. E. 1997. Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from Western North American

- earthquakes: A Summary of recent work. *Seismological Research Letters*, 68 (1), 128-153.
- Boore D. M. 2002. Simulation of ground motion using the stochastic method. *Pure and Applied Geophysics*, 1 (7).
- Boore D. M. 2003. Kuvvetli yer hareketi semineri. ODTÜ-Kongre Merkezi, Ankara.
- Blumenthal, M.M., Van der Kaaden, G., and Vlodavetz, V.I., 1964. Catalogue of the active volcanoes of the World including solfatara fields. Part XVII Turkey and the Caucasus. *International Association of Volcanology*, 17, 1-23.
- BSSC. 2003. Building Seismic Safety Council, NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, part 1 – provisions and part 2 – commentary. Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
- Calvi, V.S. 1941. *Erdbebenkatalog der Turkei und Einiger Benaehbarter Gebiete*. MTA Enstitüsü, Rapor No: 276 (Yayımlanmamış). Ankara.
- Campbell, K. W. and Bozorgnia, Y. 2003. Updated near-source ground-motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra. *BSSA*, 93 (1), 314–331.
- Campbell, K. W. 1981. Near source attenuation of peak horizontal attenuation: *BSSA*, 71 (6), 2039-2070.
- Campbell, K. W. 1985. Strong motion attenuation relations: A ten-year perspective. *Earthquake Spectra*, 1(4), 759–804.
- 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.
- Campbell K. W. 1997. Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra, *Seismological Research Letters*, 68 (1), 154-179.
- Campbell, K. W. and Bozorgnia, Y. 2003. Updated near-source ground-motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra. *BSSA*, 93 (1), 314–331.
- Chiaruttini, C. and Siro, L. 1981. The correlation of peak ground horizontal acceleration with magnitude, distance, and seismic intensity for Friuli and Ancona, Italy, and the Alpide belt. *BSSA*, 71 (6), 1993–2009.
- Coduto, D. P. 1998. *Geotechnical engineering principles and practices*. 759 pp., NJ.
- 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.

- Çiftçi, Y., Işık, M.A., Alkevli, T., Yeşilova, Ç. 2008. Van Gölü Havzasının Çevre Jeolojisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 32(2), 45-77.
- Dahle, A., Climent, A., Taylor, W., Bungum, H., Santos, P., Ciudad Real, M., Linholm, C., Strauch, W. and Segura, F. 1995. New spectral strong motion attenuation models for Central America. *Proceedings of the Fifth International Conference on Seismic Zonation*, V: II, 1005–1012.
- Degens, E.T., Wong, H.K., Kurtman, F., and Finkch, P. 1978. Geological development of Lake Van: A summary. In: *The Geology of Van*, E.T. Degens and F. Kurtman (eds.), Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Publication No. 169, pp.134-146.
- DBYHY. 1997. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Başbakanlık Basımevi, 85 s., Ankara.
- DBYHY. 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar. Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Ankara.
- Doğan, B., and Karakaş, A. 2013. Geometry of co-seismic surface ruptures and tectonic meaning of the 23 October 2011 Mw=7.1 Van earthquake (East Anatolian Region, Turkey). *Journal of Structural Geology*, 46, 99-114.
- Duda, S. J. and Nuttli, O. W. 1974. Earthquake magnitude scales. *Geophys. Surv.*, 1, 429-458.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S. ve Elmacı, H., 2011. 23 Ekim 2011 Van depremi saha gözlemleri ve kaynak faya ilişkin ön değerlendirmeler. MTA Genel Müdürlüğü (in Turkish). www.mta.gov.tr/.../deprem/2011_Van-Depremi_On-Degerlendirmeler
- 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.
- Erdik, M. 2000. Rehabilitation, recovery and preparedness after 1999 Kocaeli and Düzce earthquakes. 12 pp.
- Ergin, K., Güçlü, U., Uz, Z. 1967. Türkiye ve civarının Deprem Katoloğu. İTÜ Maden Fak. Arz Fiziği Ens., Yayın No: 24, İstanbul.
- Ergün, M. 1995. Bilimsel araştırmalarda bilgisayarla istatistik uygulamaları: SPSS for Windows. Ocak yayınları (eğitim dizisi: 2), 292 s., Ankara.
- 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., Tanaka, T. and Kataoka, S. 1988. A new attenuation relationship for peak ground acceleration derived from strong motion accelerograms: *Proc. IX WCEE*, Tokyo, 1988.

- 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.
- Gaull, B. A. 1988. Attenuation of strong ground motion in space and time in southwest Western Australia. Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, V: II, 361–366.
- Gutenberg, B. and Richter, C. F. 1936. On seismic waves. G. Beitr., 47, 280-360.
- Gutenberg, B. 1945a. Amplitudes of surface waves and magnitudes of shallow earthquakes. BSSA., 35, 3-12.
- Gutenberg, B. 1945b. Amplitudes of P, PP, and S and magnitudes of shallow earthquakes. BSSA., 35, 57-69.
- Gülkan, P. and Kalkan, E. 2002. Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey. Journal of Seismology, 6, 397-409.
- Gündoğdu, O. 1986. Türkiye Depremlerinin Kaynak Parametreleri ve Aralarındaki İlişkiler, İÜ. Müh. Fak. Jeof. Müh. (Doktora Tezi), İstanbul.
- Hanks, TC and Wyss, M. 1972. The use of body-wave spectra in the determination of seismic-source parameters. BSSA, 62 (2), 561-589.
- Hanks, TC and Kanamori, H. 1979. A moment magnitude scale. Journal of Geophysical Research, 84 (BS), 2348-2350.
- Hasgür, Z. 1996. Deprem risk analizinde kullanılan azalım ilişkileri. TDV, TR 96-002.
- Heaton, T. H., Tajima, F. and Mori, A. W. 1982. Estimating ground motions using recorded accelerograms. Report by Dames and Moore to Exxon Production Research Company, Houston, TX.
- IBM SPSS Statistics. 2019. IBM SPSS Statistics software: SPSS Statistics V26. (www.ibm.com/products/spss-statistics; Erişim Tarihi: Haziran-Temmuz 2019).
- Idriss, I. M. 1993. Procedures for selecting earthquake ground motions at rock sites. Technical Report: NIST GCR 93-625, National Institute of Standards and Technology.
- 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.
- Jennings, P.C. 1985. Ground motion parameters that influence structural damage. In: R.E. Scholl and J.L. King (Editors), Strong Ground Motion Simulation and Engineering Applications, Earthquake Engineering Research Institute (EERI) Publication 85-02, Berkeley, California.
- Joyner, W. B. and Boore, D. M. 1981. Peak horizontal acceleration and velocity from strong motion records, including records from the 1979 Imperial Valley, California Earthquake: BSSA, 71(6), 2011-2038.

- Joyner, W. B. and Fumal, T. E. 1984. Use of measured shear-wave velocity for predicting geologic site effects on strong ground motion. *Proceedings of 8th World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. II, 777–783.
- 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.
- Julian, B. R. and Anderson, D. L. 1968. Travel times, apparent velocities, and amplitudes of body waves. *BSSA*, 58, 339-366.
- Kalafat, D., Öz, G. ve Kara, M. 1998. Anadolu’da bulunan on-line deprem istasyonların magnitüd denklemlerinin çıkartılması. *Deprem Araştırma Bülteni*, 76, 20-30, Ankara.
- Kalafat, D. 2002. Sismik ağlarda deprem büyüklüklerinin ampirik olarak ilişkilendirilmesi. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu altıncı toplantısı (ATAG-6)*, Bildiri özleri kitapçığı, 105-108, MTA Genel Müdürlüğü, 21-22 Kasım 2002, Ankara.
- Kanamori, H. and Anderson, D. L. 1975. Theoretical basis of some empirical relations in seismology. *BSSA.*, 65 (5), 1073-1095.
- Kanamori, H. 1977. The energy release in great earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 82, 2981-2987.
- Karnik, V. 1971. *Sismicity of the European Area*. 2.D. Rediel Publishing Company, Dortrecht, Holland.
- Kayabali, K. 1997. The Role of soil behavior on damage caused by the Dinar earthquake (Southwestern Turkey) of October 1, 1995. *Environmental & Engineering Geoscience*, V: II, No: 1, pp: 111-121.
- Kayabali, K. 2002. Modeling of seismic hazard for Turkey using the recent neotectonic data. *Eng Geol* 63:221–232.
- Kayabali, K., and Akın, M. 2003. Seismic hazard map of Turkey using the deterministic approach. *Engineering Geology*, 69, 127-137.
- Kayabali, K. 2005. Comment on “An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey” by Ulusay et al., *Eng. Geo.* 74:265–291, (2004). *B. Eng. Geol.* 79, 293–295
- 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).
- Keilis-Borok, V.I. 1960. Investigation of the mechanism of earthquakes. *Sov. Res. Geophys.*
- Kempe, S., Khoo, F., and Gürleyik, Y. 1978. Hydrography of Lake Van and its drainage area. In: *The Geology of Lake Van*, E.T. Degens and F. Kurtman (eds.), The

- Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Publication No.169, pp. 30-44.
- Koçyiğit, A. 2002. Neotectonic characteristics and seismicity of East Anatolia. Workshop-2002 on the Geology of East Anatolia, Van, pp.1-3
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., and Kuloshvili, S. 2001. Neotectonics of East Anotolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta*, 14, 177-195.
- Koçyiğit, A., Deveci, Ş. ve Kaplan, M. 2011. Van depremleri raporu (23 Ekim-30 Kasım, 2011). ODTÜ, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Aktif Tektonik ve Deprem Araştırma Laboratuvarı, 21 p (in Turkish).
- KOERI. 2004. **Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute.** www.koeri.boun.edu.tr (Erişim Tarihi: 2019).
- KRDAE. 2011. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (<http://www.koeri.boun.edu.tr/new/>).
- Kondorskaya, N.V., Shebalin, N.V. 1977. New Catalogue of strong Earthquakes on the Territory of USSR from the Ancientest times to 1975. Moscow.
- Kramer, S. L. 1996. Geoteknik deprem mühendisliği. (Çeviren: Kayabalı, K. 2003) Gazi Kitabevi, 708 s., Ankara.
- Krinitzsky E. L., Chang, F. K. and Nuttli, O. W. 1988. Magnitude-related earthquake ground motions. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, XXV (4), 399-423.
- Kutsal, A., Alpan, O. ve Arpacık, R. 1990. İstatistik Uygulamalar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, 231 s., Ankara.
- Lussou, P., Bard, P. Y., Cotton, F. and Fukushima, Y. 2001. Seismic design regulation codes: Contribution of K-Net data to site effect evaluation. *Journal of Earthquake Engineering*, 5 (1), 13–33.
- Mahdyiar, M., Singh, S. K. and Meyer, R. P. 1986. Moment magnitude scale for local earthquakes in the Petatlan Region, Mexico, based on recorded peak horizontal velocity. *BSSA*, 76 (5), 1225-1239.
- Mahdyiar, M. 1987. A Nomograph to calculate source radius and stres drop from corner frequency, shear velocity, and seismic moment. *BSSA*, 77 (1), 264-265.
- McCue, K., Gibson, G. and Wesson, V. 1988. Intraplate recording of strong motion in southeastern Australia. *Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, V: II, 355–360.
- McGuire, R.K. 1978. Seismic ground motion parameter relations. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 104 (GT4), 481-490.

- METU-EERC. 2011. 23 Ekim 2011 M_w 7.2 Van depremi sismik ve yapısal hasara ilişkin saha gözlemleri. Ankara, Rapor No: METU-EERC 2011-4, 76 p (in Turkish).
- Munguía L. and Brune J.N. 1984. Local magnitude and sediment amplification observations from earthquakes in the Northern Baja California-Southern California region. BSSA, 74 (1), 107-119.
- Newmark, N.M. and Hall, W.J. 1982. Earthquake spectra and design. EERI Monograf, 103 pp. Berkeley, California.
- Norusis, M.J. 1993. SPSS for WINDOWS Base System User's Guide Release 6.0, Chicago.
- Nuttli, O. W., Bollinger, G. A. and Griffiths, D. W. 1979. On the relation between modified Mercalli intensity and body-wave magnitude. BSSA, 69 (3), 893-909.
- Öcal, N. 1968. Türkiye'nin sismisitesi ve zelzele coğrafyası, 1850-1960 yılları için zelzele kataloğu. Kandilli Rasathanesi Yayınları, No: 8, İstanbul.
- 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.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Bozkurt, E., Dirik, K., Topal, T., Alan, H., Çağlan, D. 2011. 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van Depreminin Sismik Jeomorfolojisi ve Doğu Anadolu'daki Aktif Tektonik Yapılarla Olan İlişkisi. JMO Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 35 (2), 175-199.
- Özmen, B. 2000. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi depreminin hasar durumu (Rakamsal verilerle). TDV., 132 s., İstanbul.
- Papageorgiou, A. S. and Aki, K. 1983a. A Specific barrier model for the quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion. I. Description of the model. BSSA, 73 (3), 693-722.
- Papageorgiou, A. S. and Aki, K. 1983b. A Specific barrier model for the quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion. Part II. Applications of the model. BSSA, 73 (4), 953-978.
- Peng, K., Xie, L., Li, S., Boore, D.M., Iwan, W.D. and Teng, T.L. 1985a. The near-source strongmotion accelerograms recorded by an experimental array in Tangshan, China. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 38, 92–109.
- Peng, K.-Z., Wu, F.T. and Song, L. 1985b. Attenuation characteristics of peak horizontal acceleration in northeast and southwest China. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 13 (3), 337–350.
- Plassard, J., and Kogoş, B. 1968. Catalogue des seismes ressentis au Liban. Annales-Memoires Observ. de Ksara, Kzara par Zahleh, IV: 11.

- Real, C.R. and Teng, T. 1973. Local Richter magnitude and total signal duration in southern California. BSSA, 63 (5).
- Richter, C.F. 1935. An instrumental earthquake scale. BSSA, 25, 1-32.
- Richter, C.F. 1958. Elementary seismology. W.H. Freeman and Company, 768 p., San Francisco and London.
- Roësset, J.M. 1977. Soil amplification of earthquakes: Chapter 19 in C. S. Desai and J. T. Christian, eds., Numerical Methods in Geotechnical Engineering, McGraw Hill, N.Y., 639-682.
- Ross, S.M. 1987. Introduction to probability and statistics for engineers and scientists. John Wiley and Sons, 492 p., N.Y.
- Sabetta, F. and Pugliese, A. 1987. Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from Italian strong ground motion records: BSSA, 77, 1491-1513.
- Sabetta, F. and Pugliese, A. 1996. Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions. BSSA, 86 (2), 337-352.
- Sadigh, K., Chang, C.-Y., Abrahamson, N.A., Chiou, S.J. and Power, M.S. 1993. Specification of long-period ground motions: Updated attenuation relationships for rock site conditions and adjustment factors for near-fault effects. Pages 59-70 of: Proceedings of ATC-17-1 Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control.
- 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.
- Sadigh, R.K. and Egan, J.A. 1998. Updated relationships for horizontal peak ground velocity and peak ground displacement for shallow crustal earthquakes. Proceedings of the Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering.
- Schiff, D. and D'agostino, R.B. 1996. Practical engineering Statistics. John Wiley and Sons, 309 p., N.Y.
- 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.
- Shakal, A.F., and Bernreuter, D.L. 1981. Empirical analyses of near-source ground motion, U.S. Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR-2095.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. and Altınok, Y. 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (2100 B.C.–1900 A.D.). TÜBİTAK raporu, No. TBAG-341.

- SPO. 2000. State Planning Organization - Uzun Vadeli Strateji Ve Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara.
- Stewart, I.C.F. 1975. A magnitude scale for local earthquakes in South Australia. BSSA, 65 (5), 1267-1285.
- Şaroğlu, F. and Yılmaz, Y. 1986. Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 107, 73-94.
- 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.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A. 2008. The Earthquakes Catalogues for Turkey. Turkish Journal of Earth Science 17, 405- 418.
- Temur, S. 1995. Jeolojide Veri Analizleri. Selçuk Üniv. Müh.-Mim. Fakültesi, Yayın No: 21, 376 s., Konya.
- Theodulidis, N.P. and Papazachos, B.C. 1992. Dependence of strong ground motion on magnitudedistance, site geology and macroseismic intensity for shallow earthquakes in Greece: I, peak horizontal acceleration, velocity and displacement. Soil Dyn. and Earthq. Eng., 11, 387-402.
- Trifunac, M.D. and Brady, A.G. 1975. A study of the duration of strong earthquake ground motion. BSSA, 65, 581-626.
- Trifunac, M.D. 1976. Preliminary analysis of the peaks of strong earthquake ground motion-dependence of peaks on earthquake magnitude, epicentral distance and recording site conditions. BSSA, 66 (1), 189-219.
- Trifunac, M.D. and Brady, A.G. 1976. Correlations of peak acceleration, velocity and displacement with earthquake magnitude, distance and site conditions. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 4 (5), 455-471.
- TBDY. 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (18 Mart 2018 tarihli ve 30364 mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yayınlanmış olup, 01 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir).
- UBC (Uniform Building Code). 1988. International Conferance of Building Officials, 1988: UBC 1988. Section 2312 Earthquake Regulations. Whitter, 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 sedimantolojisi. Yüksek lisans tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 73 s (yayımlanmamış).
- Vardeman S.B. 1994. Statistics for engineering problem solving. PWS Publishing Company. 712 p., Boston.
- Wong, H.K., and Finckh, P. 1978. Shallow structures in Lake Van. In: The Geology of Lake Van, E.T. Degens and F. Kurtman (eds.), The Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Publication, No.169, pp. 20-28.
- Yılmaz, Y., Dilek, Y., Işık, H. 1981. Gevaş (Van) ofiyolitinin jeolojisi ve sinkinematik bir makaslama zonu. TJK Bülteni, 24, 37-44.yılmaz v
- Yılmaztürk, A. ve Bayrak, Y. 1997. Global depremlerde açığa çıkan sismik enerjinin zaman ve uzay dağılımı. Deprem Araştırma Bülteni, 75, 17-53.
- YTU. 2011. 23 Ekim 2011 Van depremi (Mw: 7.2) jeolojik ve jeomorfolojik ön değerlendirme raporu (in Turkish) (www.yildiz.edu.tr/~deguney/ytu-van-deprem-rapor.pdf).
- Youngs, R.R., Day, S.M. and Stevens, J.L. 1988. Near field ground motions on rock for large subduction earthquakes. Proceedings of Earthquake Engineering and Soil Dynamics, II. Geotechnical Division, ASCE, 445–462.
- Youngs, R.R., Chiou, S.-J., Silva, W.J. and Humphrey, J.R. 1997. Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. BSSA, 68(1), 58–73.
- Zaré M., Bard, P.-Y. and Ghafory-Ashtiany, M. 1999. Attenuation Law for the Strong Motions in Iran, 3rd Int. Conf. on Seismology and Earthquake Engineering (SEE3), Proc., 1, 345-354.
- Zaré, M. and Bard, P.-Y. 2002. Strong motion dataset of Turkey: data processing and site classification. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, V: 22, pp. 703-718.
- Zúñiga F.R., Wyss, M. and Scherbaum, F. 1988. A Moment-magnitude relation for Hawaii. BSSA, 78 (1), 370-373.

EKLER**EK-1. 1976-2019 yılları arasında Van Gölü Havzasında (37°.50 - 40°.00 K ve 41°.00 – 45°.00 D koordinatları arasında) meydana gelmiş depremler (AFAD-DDB 2019)**

No	Deprem ID	Tarih	Saat	Episantr Enlem (K)	Episantr Boylam (D)	Depth (km)	M _L	M _b	M _s	M _w	M _b	Şehir/İlçe	İst. Ad.
12	197904111214	11.04.1979	12:14:27.60	39.1200	43.9100	44.0	4.9	4.9	-	5.3	5.0	Caldiran - VAN	1
34	198804200350	20.04.1988	03:50:07.90	39.1070	44.1224	48.1	5.1	5.1	5.1	5.5	5.1	Caldiran - VAN	1
56	199409170224	17.09.1994	02:24:41.50	37.8388	41.5653	29.1	4.9	-	3.9	4.7	5.0	Merkez - BATMAN	1
78	199502141113	14.02.1995	11:13:21	37.7382	42.7136	10.0	5.4	5.4	4.1	4.8	4.6	Uludere - SIRNAK	1
9	199502261133	26.02.1995	11:33:28	38.3068	43.0454	33.0	4.7	-	-	4.1	3.9	Merkez - VAN	1
10	199507051427	5.07.1995	14:27:09.40	39.9300	41.5900	7.0	3.8	3.8	-	4.3	-	Pasinler - ERZURUM	1
11	199609180516	18.09.1996	05:16:42.50	39.6402	41.3646	15.0	4.4	4.4	-	4.3	4.1	Tekman - ERZURUM	1
12	199612200809	20.12.1996	08:09:02.40	38.9328	41.0249	30.4	4.4	4.4	-	4.2	4.0	Merkez - BINGOL	1
13	199706011033	1.06.1997	10:33:44.90	39.9002	42.0520	10.0	4.0	4.0	2.9	4.3	4.1	Hinis - ERZURUM	2
14	199708080239	8.08.1997	02:39:03.30	39.8407	41.9647	11.0	4.4	4.4	3.8	4.7	4.4	Koprukoy - ERZURUM	1
15	199709151531	15.09.1997	15:31:19.80	39.3100	41.2600	-	3.7	3.7	-	4.2	-	Varto - MUS	1
16	199709261113	26.09.1997	11:13:06.30	39.2290	41.3386	74.0	4.0	4.0	-	4.3	4.1	Hinis - ERZURUM	2
17	199710020106	2.10.1997	01:06:28.50	38.9849	44.2651	44.9	4.4	4.4	-	4.4	4.2	-	1
18	199710120506	12.10.1997	05:06:07.70	38.5323	43.2798	60.4	4.2	4.2	-	4.6	4.3	Merkez - VAN	2
19	199710300405	30.10.1997	04:05:33.60	38.7557	43.5262	13.5	4.4	4.4	3.5	4.5	4.3	-	1
20	199711020025	2.11.1997	00:25:58.50	38.7677	43.3401	10.0	4.4	4.4	3.6	4.5	4.5	Merkez - VAN	2
21	199711030807	3.11.1997	08:07:59.90	38.7732	42.4755	8.0	4.9	4.9	3.9	4.7	4.8	Ahlat - BITLIS	1
22	199711030846	3.11.1997	08:46:48.10	38.3900	42.2700	33.0	4.2	-	-	4.8	4.5	Tatvan - BITLIS	1
23	199711031446	3.11.1997	14:46:00	39.3100	42.6600	18.0	3.9	-	-	4.1	-	Tutak - AGRI	1
24	199801231232	23.01.1998	12:32:52.90	39.3391	43.9934	26.1	3.9	4.2	4.7	5.2	4.4	Dogubeyazit - AGRI	2
25	199802240646	24.02.1998	06:46:00	39.1608	41.3090	10.0	3.7	3.7	-	4.2	-	Horasan - ERZURUM	1
26	199804131514	13.04.1998	15:14:33.50	39.3061	41.0663	15.3	5.0	5.0	4.8	5.2	4.8	Karlioiva - BINGOL	5
27	199804131956	13.04.1998	19:56:29.80	39.9388	42.0231	10.0	4.2	4.4	4.0	4.8	4.1	Pasinler - ERZURUM	2
28	199804181057	18.04.1998	10:57:15.30	39.9155	41.0290	22.9	3.7	3.9	-	4.4	3.4	Tercan - ERZINCAN	1
29	199804282028	28.04.1998	20:28:25.30	39.5810	42.5607	4.0	4.1	4.3	3.3	4.4	4.2	Malazgirt - MUS	1
30	199805110025	11.05.1998	00:25:45.90	39.7269	42.3155	28.9	4.0	4.0	3.2	4.3	4.0	Eleskirt - AGRI	1
31	199808070136	7.08.1998	01:36:12.70	37.6335	43.4850	34.1	-	4.4	4.2	4.9	4.6	Beytussepap - HAKKARI	1
32	199809251359	25.09.1998	13:59:00	39.5967	44.2241	64.1	-	-	-	4.1	3.9	Diyadin - AGRI	1
33	199810110722	11.10.1998	07:22:22.04	38.9477	42.7195	55.7	-	3.7	-	4.0	3.8	Ahlat - BITLIS	1
34	199811060414	6.11.1998	04:14:54.60	38.8856	42.5598	12.7	-	3.9	-	4.2	4.0	Ahlat - BITLIS -	2
35	199902191800	19.02.1999	18:00:13.30	38.8080	44.5120	77.0	-	-	-	4.6	4.3	Horasan - ERZURUM	1
36	199904051745	5.04.1999	17:45:52.40	39.5890	42.2790	10.0	-	3.8	-	4.3	-	Tekman - ERZURUM	1
37	199907200422	20.07.1999	04:22:40.56	39.9000	41.3430	41.1	-	4.2	4.0	4.8	4.3	Karlioiva - BINGOL	1
38	200002011945	1.02.2000	19:45:28.34	39.0740	41.1230	10.0	-	4.1	3.4	4.4	3.7	Ozalp - VAN	1
39	200003131703	13.03.2000	17:03:16.60	38.7800	43.7700	1.0	-	3.7	-	4.2	-	Tekman - ERZURUM	1
40	200008192126	19.08.2000	21:26:13.50	39.8120	41.4450	33.0	-	4.1	-	4.0	3.8	-	1
41	200011151505	15.11.2000	15:05:34.87	38.4070	42.9530	48.4	5.2	5.4	5.4	5.5	5.2	-	1
	200011151606	15.11.2000	16:06:03.58	38.5890	42.9130	45.3	-	4.1	4.4	5.0	4.4	Pasinler - ERZURUM	1
	200105291314	29.05.2001	13:14:27.05	39.8430	41.6670	20.3	-	4.3	4.2	4.9	4.7	Koprukoy - ERZURUM	1
	200105291415	29.05.2001	14:15:53.51	39.7390	41.9470	10.0	-	4.5	4.0	4.9	4.8	Pasinler - ERZURUM	1
	200107102142	10.07.2001	21:42:04	39.8060	41.6400	22.5	-	4.9	4.4	5.4	4.9	-	1

42	200107151621	15.07.2001	16:21:04.30	39.8400	41.3900	5.0	-	3.8		4.3		Merkez - ERZURUM	1
43	200108241040	24.08.2001	10:40:39.60	37.8690	43.1920	5.0	-	3.8		4.3		Gavas - VAN	1
44	200111291936	29.11.2001	19:36:48.17	39.7550	41.5570	10.0	-	4.0	4.0	4.8	4.2	Koprukoy - ERZURUM	1
45	200112020411	2.12.2001	04:11:46.10	38.5120	43.2390	19.6	-	4.5	4.1	4.8	4.6	Merkez - VAN	1
46	200112040940	4.12.2001	09:40:26.10	38.5920	43.2630	3.1	-	4.2	4.1	4.8	4.4	Merkez - VAN	1
47	200112040943	4.12.2001	09:43:09.60	38.6650	43.3340	10.0	-	3.8	-	4.3	-	Merkez - VAN	1
48	200206272124	27.06.2002	21:24:49.10	38.9840	41.1740	8.0	-	3.9	-	4.4	-	Solhan - BINGOL	1
49	200409262103	26.09.2004	21:03:16.05	38.4734	43.2224	13.7	-	4.0	3.6	4.5	4.2	Merkez - VAN	1
50	200410241900	24.10.2004	19:00:41.34	38.2106	43.7450	5.3	-	3.8	-	4.3	-	Gurpinar - VAN	1
51	200501251632	25.01.2005	16:32:48.54	37.7548	43.9115	13.2	4.5	4.0	-	4.8	4.6	Beytusebap - HAKKARI	1
52	200501251644	25.01.2005	16:44:15.13	37.6435	43.8163	23.0	-	5.4	5.6	5.8	5.3	Beytusebap - HAKKARI	1
53	200503140458	14.03.2005	04:58:07.63	39.3734	41.0492	15.6	-	4.5	4.5	4.9	4.6	Karlioia - BINGOL	2
54	200601180850	18.01.2006	08:50:42.42	39.7705	43.9225	2.9	-	3.9	-	4.4	-	IGDIR-MERKEZ	1
55	200605090044	9.05.2006	00:44:23.84	39.3667	44.2813	11.2	-	4.0	-	4.3	4.1	ERZURUM-MERKEZ	1
56	200610182343	18.10.2006	23:43:32.39	38.5431	43.3712	8.7	-	3.8	-	4.3	-	VAN-MERKEZ	1
57	200610252200	25.10.2006	22:00:17.26	39.0348	41.1933	8.0	-	4.1	-	4.5	-	BINGOL-KARLIOVA	1
58	200701210738	21.01.2007	07:38:58	39.6290	42.8290	3.1	-	4.8	5.0	5.1	5.1	AGRI-TUTAK	1
59	200708252205	25.08.2007	22:05:48.60	39.2882	41.0334	15.8	5.1	-	5.4	5.3	5.1	BINGOL-KARLIOVA	4
60	200710282200	28.10.2007	22:00:45.90	38.9782	41.1210	10.5	4.2	4.1	-	4.4	4.2	BINGOL-SOLHAN	3
61	200711150411	15.11.2007	04:11:11.29	39.0540	41.9780	4.0	-	4.0	-	4.4	-	MUS-BULANIK	1
62	200805112320	11.05.2008	23:20:06.74	37.5881	43.0680	1.8	4.0	-	-	-	-	Pirnak-Beytusebap	0
63	200807120554	12.07.2008	05:54:03.75	39.2138	41.6732	24.2	-	4.0	-	-	-	Erzurum-Hıynıs	1
64	201005220230	22.05.2010	02:30:33	39.3350	41.1160	10.4	-	4.2	-	-	-	BINGOL-KARLIOVA	1
65	201010012105	1.10.2010	21:05:14.34	38.2302	42.5155	5.0	4.0	-	-	-	-	Hizan-Bitlis	1
66	201101010000	1.01.2011	00:00:00	38.4857	43.2502	4.9	4.4	-	-	-	-	VAN GOLU	0
67	201102220911	22.02.2011	09:11:44.66	38.9868	42.3498	18.1	4.5	-	-	-	-	Bulanık-Muþ	1
68	201102221815	22.02.2011	18:15:52.86	38.9658	42.3288	4.3	4.4	-	-	-	-	Bulanık-Muþ	1
69	201104301526	30.04.2011	15:26:03.50	38.1832	42.5258	5.0	4.5	-	-	-	-	BITLIS-HIZAN	1
70	201110231041	23.10.2011	10:41:20	38.6890	43.4657	19.0	6.7	-	-	7.0	-	VAN-MERKEZ	22
71	201110231048	23.10.2011	10:48:15.01	38.7152	43.3715	12.0	4.6	-	-	-	-	Van-Merkez	1
72	201110231052	23.10.2011	10:52:11.51	38.7643	43.2523	7.0	4.8	-	-	-	-	Van-Merkez	1
73	201110231056	23.10.2011	10:56:56.23	38.7770	43.3720	18.8	5.8	-	-	-	-	Van-Merkez	1
74	201110231100	23.10.2011	11:00:37	38.7607	43.5442	7.0	4.2	-	-	-	-	Van-Merkez	1
75	201110231132	23.10.2011	11:32:46.09	38.8185	43.3338	17.3	5.5	-	-	-	-	Van-Merkez	3
76	201110231810	23.10.2011	18:10:44	38.6403	43.1867	16.8	5.0	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	1
77	201110231853	23.10.2011	18:53:55.25	38.7105	43.3357	12.3	4.9	-	-	-	-	Van-Merkez	1
78	201110231906	23.10.2011	19:06:13.24	38.7435	43.2830	16.6	4.9	-	-	-	-	Van-Merkez	1
79	201110232045	23.10.2011	20:45:42.06	38.6545	43.1237	14.0	5.8	-	-	-	-	Van Golu	4
80	201110232056	23.10.2011	20:56:36	38.6220	43.1132	16.3	4.3	-	-	-	-	VAN GÖLÜ	1
81	201110240555	24.10.2011	05:55:05.97	38.7000	43.2728	5.0	4.3	-	-	-	-	Van-Merkez	1
82	201110240828	24.10.2011	08:28:26	38.6865	43.5322	18.9	4.7	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	1
83	201110240849	24.10.2011	08:49:30.43	38.7110	43.5865	14.9	5.0	-	-	-	-	Van-Merkez	1
84	201110241030	24.10.2011	10:30:24.59	38.6882	43.3160	2.1	4.1	-	-	-	-	Van-Merkez	1
85	201110241249	24.10.2011	12:49:24.26	38.6907	43.3418	6.7	4.3	-	-	-	-	Van-Merkez	1
86	201110241528	24.10.2011	15:28:06	38.6930	43.1475	18.7	4.8	-	-	-	-	VAN GÖLÜ	2
87	201110242213	24.10.2011	22:13:30	38.7217	43.1360	19.3	4.5	-	-	-	-	VAN GÖLÜ	1
88	201110251455	25.10.2011	14:55:06	38.8292	43.5943	18.3	5.5	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	2

89	201110251656	25.10.2011	16:56:16	38.7895	43.4705	8.1	4.3	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	1
90	201110252325	25.10.2011	23:25:27.65	38.7605	43.3848	6.3	4.0	-	-	-	-	Van-Merkez	1
91	201110260316	26.10.2011	03:16:26.93	38.7045	43.1990	7.3	4.8	-	-	-	-	Van-Merkez	1
92	201110260327	26.10.2011	03:27:13.79	38.7062	43.1948	7.0	4.2	-	-	-	-	Van-Merkez	1
93	201110260849	26.10.2011	08:49:27	38.6753	43.3840	1.6	4.0	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	1
94	201110261205	26.10.2011	12:05:25	38.7380	43.5005	5.0	4.3	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	1
95	201110261514	26.10.2011	15:14:47.72	38.6830	43.5795	14.1	4.4	-	-	-	-	Van-Merkez	1
96	201110270529	27.10.2011	05:29:18.57	38.7048	43.4018	22.4	4.1	-	-	-	-	Van-Merkez	1
97	201110271541	27.10.2011	15:41:33.95	38.9012	43.5257	5.0	4.1	-	-	-	-	Van-Merkez	1
98	201110272055	27.10.2011	20:55:09.21	38.8138	43.5832	4.7	4.0	-	-	-	-	Van-Merkez	1
99	201110280025	28.10.2011	00:25:32.99	38.5570	43.1673	11.2	4.1	-	-	-	-	Van Golu	1
100	201110280323	28.10.2011	03:23:30.10	38.8557	43.5358	1.1	4.1	-	-	-	-	Van-Merkez	1
101	201110280848	28.10.2011	08:48:08.38	38.6600	43.5613	21.0	4.2	-	-	-	-	Van-Merkez	1
102	201110280947	28.10.2011	09:47:55.90	38.7527	43.5303	18.4	4.5	-	-	-	-	Van-Merkez	2
103	201110281959	28.10.2011	19:59:49.03	38.6342	43.1843	7.0	4.2	-	-	-	-	Van Golu	1
104	201110290352	29.10.2011	03:52:43.59	38.5842	43.1635	7.0	4.2	-	-	-	-	Van Golu	1
105	201110291845	29.10.2011	18:45:49.65	38.6595	43.1450	7.0	4.7	-	-	-	-	Van Golu	1
106	201110292224	29.10.2011	22:24:22.61	38.8943	43.5507	16.0	4.9	-	-	-	-	Van-Merkez	3
107	201110300155	30.10.2011	01:55:05.40	38.7168	43.5823	20.9	4.5	-	-	-	-	Van-Merkez	2
108	201110300429	30.10.2011	04:29:10	38.7458	43.3052	19.9	4.2	-	-	-	-	Van Merkez	1
109	201110311657	31.10.2011	16:57:59.04	38.7337	43.3475	15.9	4.0	-	-	-	-	Van-Merkez	1
110	201111012110	1.11.2011	21:10:44.96	38.8485	43.6130	9.0	4.4	-	-	-	-	Van-Merkez	1
111	201111020434	2.11.2011	04:34:21.51	38.8465	43.5983	7.0	4.8	-	-	-	-	Van-Merkez	2
112	201111021324	2.11.2011	13:24:02	38.8435	43.5308	21.7	4.8	-	-	-	-	Van-Merkez	3
113	201111022048	2.11.2011	20:48:21	38.7813	43.3417	5.0	4.3	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	2
114	201111050323	5.11.2011	03:23:46	38.7165	43.2347	19.5	4.2	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	2
115	201111051919	5.11.2011	19:19:16	38.8147	43.5147	19.1	4.6	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	3
116	201111061334	6.11.2011	13:34:23	38.8262	43.4540	7.0	4.2	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	1
117	201111062056	6.11.2011	20:56:00	38.6033	43.1637	5.0	4.1	-	-	-	-	VAN GÖLÜ	1
118	201111071554	7.11.2011	15:54:48	38.6634	43.6323	4.4	4.8	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	2
119	201111072214	7.11.2011	22:14:12	38.9182	43.4845	7.1	4.5	-	-	-	-	VAN GOLU	1
120	201111081724	8.11.2011	17:24:52	38.6750	43.1678	7.1	4.2	-	-	-	-	VAN MERKEZ	1
121	201111081934	8.11.2011	19:34:26	38.7905	43.3817	7.0	4.4	-	-	-	-	VAN MERKEZ	1
122	201111082205	8.11.2011	22:05:50	38.7060	43.1082	6.9	5.4	-	-	-	-	VAN GOLU	4
123	201111091923	9.11.2011	19:23:33	38.4472	43.2638	6.1	5.6	-	-	-	-	VAN GOLU	5
124	201111091930	9.11.2011	19:30:09	38.4857	43.2502	4.9	4.4	-	-	-	-	VAN GOLU	1
125	201111092045	9.11.2011	20:45:39	38.4905	43.2342	8.4	4.4	-	-	-	-	VAN GOLU	2
126	201111092238	9.11.2011	22:38:18	38.4647	43.2268	2.5	4.4	-	-	-	-	VAN GOLU	2
127	201111121705	12.11.2011	17:05:21	38.6622	43.5085	20.2	4.0	-	-	-	-	VAN MERKEZ	1
128	201111121820	12.11.2011	18:20:02.33	38.6327	43.1775	18.9	4.5	-	-	-	-	Van-Golu	3
129	201111121825	12.11.2011	18:25:47.45	38.8330	43.5633	13.6	4.2	-	-	-	-	Van-Merkez	1
130	201111121953	12.11.2011	19:53:48.86	38.4903	43.2560	5.0	4.2	-	-	-	-	Van-Golu	2
131	201111130344	13.11.2011	03:44:00	38.4362	43.0183	11.3	4.0	-	-	-	-	VAN GÖLÜ	1
132	201111131829	13.11.2011	18:29:53.49	38.8692	43.5782	14.3	4.1	-	-	-	-	Van-Merkez	1
133	201111131957	13.11.2011	19:57:29.89	38.8697	43.5560	12.7	4.1	-	-	-	-	Van-Merkez	1
134	201111141631	14.11.2011	16:31:31	38.6315	43.0638	15.6	4.4	-	-	-	-	VAN GÖLÜ	2
135	201111141647	14.11.2011	16:47:16	38.6247	43.0752	19.0	4.7	-	-	-	-	VAN GÖLÜ	1
136	201111142208	14.11.2011	22:08:15	38.7250	43.1118	18.8	5.1	-	-	-	-	Van Golu	4

137	201111170237	17.11.2011	02:37:18	39.1593	41.5903	10.5	4.5	-	-	-	-	Muþ-Varto	2
138	201111171238	17.11.2011	12:38:31	38.8805	43.5815	14.2	4.5	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	2
139	201111181739	18.11.2011	17:39:39	38.8022	43.8528	8.0	5.2	-	-	-	-	VAN OZALP	5
140	201111201120	20.11.2011	11:20:31	38.8570	43.7483	5.0	4.1	-	-	-	-	VAN-MURADIYE	2
141	201111212055	21.11.2011	20:55:56	38.6800	43.2075	18.1	4.6	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	5
142	201111212100	21.11.2011	21:00:35	38.6885	43.2230	17.9	4.5	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	4
143	201111220330	22.11.2011	03:30:35	38.6162	43.1913	17.5	4.6	-	-	-	-	VAN MERKEZ	1
144	201111222348	22.11.2011	23:48:14	38.9122	43.5745	17.0	4.5	-	-	-	-	Van-Merkez	1
145	201111261922	26.11.2011	19:22:32	38.4527	43.2973	5.0	4.2	-	-	-	-	Van Golu	2
146	201111300047	30.11.2011	00:47:21	38.4742	43.2942	14.8	5.0	-	-	-	-	VAN GÖLÜ	6
147	201112021653	2.12.2011	16:53:08	38.7312	43.2808	21.0	4.0	-	-	-	-	Van-Merkez	2
148	201112030130	3.12.2011	01:30:54	38.8513	43.7850	4.0	4.3	-	-	-	-	Van-Muradiye	2
149	201112042215	4.12.2011	22:15:02	38.4560	43.3230	23.6	4.9	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	5
150	201112060255	6.12.2011	02:55:59	38.8330	43.6160	15.4	4.7	-	-	-	-	VAN MERKEZ	3
151	201112100507	10.12.2011	05:07:52	38.9117	43.5733	10.0	4.2	-	-	-	-	Van-Merkez	2
152	201112121028	12.12.2011	10:28:28	38.5970	43.1958	22.0	4.3	-	-	-	-	Van-Merkez	2
153	201112121156	12.12.2011	11:56:55	38.6927	43.3912	18.0	4.2	-	-	-	-	Van-Merkez	1
154	201112170528	17.12.2011	05:28:58	38.8170	43.6172	13.0	4.0	-	-	-	-	VAN-MURADÝYE	1
155	201112211707	21.12.2011	17:07:03	38.7318	43.2163	6.8	4.4	-	-	-	-	Van-Merkez	3
156	201112271918	27.12.2011	19:18:52	38.9225	43.6352	5.7	4.4	-	-	-	-	VAN-MURADÝYE	1
157	201112272217	27.12.2011	22:17:59	38.9395	43.6328	6.6	4.1	-	-	-	-	VAN GÖLÜ	1
158	201201060016	6.01.2012	00:16:48	38.7633	43.5670	8.3	4.2	-	-	-	-	Van-Merkez	4
159	201201200957	20.01.2012	09:57:37	38.7032	43.4975	21.0	4.5	-	-	-	-	Van-Merkez	7
160	201201210045	21.01.2012	00:45:01	39.9142	41.6733	21.8	4.1	-	-	-	-	Erzurum-Pasinler	5
161	201201290414	29.01.2012	04:14:58	38.8345	43.5865	17.0	4.2	-	-	-	-	Van-Merkez	2
162	201202081228	8.02.2012	12:28:58	38.6273	44.2178	6.2	4.1	-	-	-	-	VAN-SARAY	1
163	201202170932	17.02.2012	09:32:57	38.7432	43.2160	7.0	4.6	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	4
164	201202200050	20.02.2012	00:50:02	38.7567	43.2463	23.0	4.1	-	-	-	-	Van-Merkez	1
165	201202241307	24.02.2012	13:07:10.65	38.8278	43.5653	22.1	4.5	-	-	-	-	Van-Merkez	3
166	201202291519	29.02.2012	15:19:43.28	38.7349	43.2211	12.7	4.0	-	-	-	-	Van-Merkez	2
167	201203111828	11.03.2012	18:28:17	38.5527	44.0867	3.9	4.2	-	-	-	-	Van-Saray	1
168	201203130324	13.03.2012	03:24:12	38.4675	43.6742	7.0	4.0	-	-	-	-	Van-Merkez	2
169	201203231543	23.03.2012	15:43:37	38.9013	43.6092	6.5	4.4	-	-	-	-	Van-Merkez	3
170	201203240657	24.03.2012	06:57:46	38.8948	43.6553	9.7	4.2	-	-	-	-	VAN MERKEZ	3
171	201203261035	26.03.2012	10:35:33.12	39.2340	42.2760	17.0	5.0	-	-	-	-	Mus-Bulanik	8
172	201204040941	4.04.2012	09:41:39	38.8592	43.5882	12.8	4.4	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	3
173	201204041418	4.04.2012	14:18:37	39.3425	41.0437	14.5	4.3	-	-	-	-	Bingol-Karlioða	3
174	201204130004	13.04.2012	00:04:48	39.0488	44.1937	5.0	4.3	-	-	-	-	Van-Çaldýran	2
175	201204130422	13.04.2012	04:22:08	38.6883	43.2330	20.6	4.3	-	-	-	-	Van-Merkez	2
176	201204182330	18.04.2012	23:30:53.12	38.9040	43.5255	13.2	4.2	-	-	-	-	Van-Merkez	2
177	201205090624	9.05.2012	06:24:36	39.8542	42.8377	8.8	4.0	-	-	-	-	Agri-Eleskirt	1
178	201205190009	19.05.2012	00:09:51	38.7470	43.2185	22.0	4.0	-	-	-	-	Van Merkez	1
179	201206242007	24.06.2012	20:07:21	38.7333	43.6672	23.6	5.0	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	6
180	201206270331	27.06.2012	03:31:07	39.0075	43.6643	1.2	4.0	-	-	-	-	VAN-MURADIYE	1
181	201206280839	28.06.2012	08:39:16	38.7490	43.3507	22.3	4.2	-	-	-	-	Van-Merkez	1
182	201207201620	20.07.2012	16:20:16	38.6463	43.3748	19.6	4.3	-	-	-	-	Van-Merkez	1
183	201207242253	24.07.2012	22:53:39	38.6460	43.3355	12.7	4.3	-	-	-	-	Van-Merkez	2
184	201207312312	31.07.2012	23:12:12	38.6630	43.0523	22.5	4.2	-	-	-	-	Van Golu	3

185	201209230910	23.09.2012	09:10:42	38.7085	42.9545	18.6	4.3	-	-	-	-	VAN GOLU	6
186	201209241613	24.09.2012	16:13:40	38.5477	43.7490	6.2	4.0	-	-	-	-	VAN-MERKEZ	1
187	201212061238	6.12.2012	12:38:18	38.8222	43.6670	19.6	4.0	-	-	-	-	Van-Muradiye	1
188	201301310145	31.01.2013	01:45:53	38.8235	43.6605	16.2	4.0	-	-	-	-	Van-Muradiye	2
189	201302121700	12.02.2013	17:00:17	38.5935	43.2200	22.4	4.3	-	-	-	-	Van-Merkez	3
190	201303070321	7.03.2013	03:21:11	38.7548	43.5548	20.9	4.2	-	-	-	-	Van-Merkez	2
191	201303101004	10.03.2013	10:04:14	38.6740	43.3892	22.0	4.0	-	-	-	-	Van-Merkez	1
192	201305150709	15.05.2013	07:09:58	39.0063	41.1835	15.6	4.4	-	-	-	-	Bingol-Solhan	11
193	201306121902	12.06.2013	19:02:51	38.6247	43.6905	15.9	4.6	-	-	-	-	Van-Merkez	6
194	201306161034	16.06.2013	10:34:39	38.8797	43.5823	17.5	4.0	-	-	-	-	Van-Merkez	2
195	201309161031	16.09.2013	10:31:39	39.0297	41.4348	19.5	4.5	-	-	-	-	Mus-Merkez	6
196	201309172040	17.09.2013	20:40:50	39.0370	41.4027	20.3	5.1	-	-	-	-	Mus-Merkez	24
197	201309172314	17.09.2013	23:14:28	39.0798	41.3833	22.0	4.0	-	-	-	-	Mus-Varto	18
198	201309181822	18.09.2013	18:22:41	39.6987	41.6773	11.2	4.3	-	-	-	-	Erzurum-Tekman	22
199	201309210215	21.09.2013	02:15:44	38.6735	43.4187	17.0	4.5	-	-	-	-	Van-Merkez	9
200	201309260255	26.09.2013	02:55:36	38.8497	43.5665	6.9	4.0	-	-	-	-	Van-Merkez	10
201	201310042250	4.10.2013	22:50:27	39.9880	42.9488	21.3	4.3	-	-	-	-	Agri-Merkez	10
202	201310302240	30.10.2013	22:40:32	38.6875	43.2493	22.1	4.3	-	-	-	-	Van-Merkez	13
203	201311220329	22.11.2013	03:29:17	38.6922	43.2213	20.3	4.5	-	-	-	-	Van-Merkez	14
204	201312240217	24.12.2013	02:17:43	38.8647	43.5092	10.8	4.0	-	-	-	-	Van-Merkez	12
205	201402182151	18.02.2014	21:51:33	38.8480	43.5450	5.8	-	-	-	-	4.6	Van-Merkez	21
206	201403051203	5.03.2014	12:03:30	38.6700	43.1868	7.3	-	-	-	-	4.0	Van Merkez	3
207	201403180928	18.03.2014	09:28:46	38.8220	43.5230	2.1	-	-	-	-	4.2	Van-Merkez	3
208	201403181433	18.03.2014	14:33:10	38.8508	43.5828	8.6	-	-	-	-	4.0	Van-Merkez	2
209	201404031356	3.04.2014	13:56:13	37.8451	42.9720	12.0	-	-	-	-	4.2	Van-Catak	4
210	201405270016	27.05.2014	00:16:16	38.8628	43.5591	12.4	-	-	-	-	4.3	Van-Merkez	9
211	201406111642	11.06.2014	16:42:09	38.5868	43.1161	6.9	-	-	-	-	4.4	Van Golu	9
212	201406131600	13.06.2014	16:00:36	38.6646	43.1778	10.1	-	-	-	-	4.0	Van-Merkez	4
213	201407190224	19.07.2014	02:24:31	38.5910	43.1265	12.6	-	-	-	-	4.1	Van golu	7
214	201410301435	30.10.2014	14:35:44	38.7235	42.1101	12.2	-	-	-	-	4.4	Bitlis-Guroymak	12
215	201501211358	21.01.2015	13:58:04	38.3160	42.8243	13.6	-	-	-	-	4.4	Van-Gevas	16
216	201502040248	4.02.2015	02:48:04	38.0410	42.7166	5.7	-	-	-	-	4.1	Van-Bahcesaray	9
217	201504281401	28.04.2015	14:01:02	38.9286	43.5206	16.5	-	-	-	-	4.0	Van Golu	3
218	201506011454	1.06.2015	14:54:16	37.5080	43.8820	12.7	-	-	-	-	4.0	Hakkari-Merkez	3
219	201506232235	23.06.2015	22:35:20	38.6810	43.1790	30.5	-	-	-	-	4.5	Van-Merkez	18
220	201507161319	16.07.2015	13:19:00	39.9061	43.2481	18.9	-	-	-	-	4.1	Agri-Merkez	4
221	201508151947	15.08.2015	19:47:31	39.3953	43.9575	4.2	-	-	-	-	4.0	Agri-Dogubeyazit	1
222	201508240627	24.08.2015	06:27:19	38.6401	43.0440	3.1	-	-	-	-	4.0	Van Golu	6
223	201509070433	7.09.2015	04:33:46	39.3966	43.9476	7.6	-	-	-	-	4.0	Agri-Dogubeyazit	1
224	201509161912	16.09.2015	19:12:17	38.6018	44.5955	7.2	-	-	-	-	4.2	Iran	3
225	201510290946	29.10.2015	09:46:39	39.1198	43.7438	4.9	-	-	-	-	4.8	Van-Muradiye	6
226	201512121548	12.12.2015	15:48:25	37.8821	43.5216	10.0	-	-	-	-	4.1	Van-Gurpinar	6
227	201601070201	7.01.2016	02:01:46	38.9188	43.5083	10.2	-	-	-	-	4.4	Van Golu	10
228	201601070252	7.01.2016	02:52:29	38.9158	43.5316	9.0	-	-	-	-	4.0	Van Golu	9
229	201601230753	23.01.2016	07:53:44	38.0495	42.6708	15.2	-	-	-	-	4.5	Van-Bahcesaray	6
230	201604192350	19.04.2016	23:50:10	38.8986	43.5535	10.9	-	-	-	-	4.0	Van-Tusba	6
231	201610181922	18.10.2016	19:22:46	38.5743	43.7041	30.0	-	-	-	-	4.1	Van-Ipekyolu	4
232	201610230822	23.10.2016	08:22:01	38.4358	41.9415	7.6	-	-	-	-	4.2	Bitlis-Mutki	7

233	201611231003	23.11.2016	10:03:16	38.4788	43.9503	11.6	-	-	-	4.1	-	Van-Ozalp	6
234	201611231214	23.11.2016	12:14:36	38.4956	43.5616	6.3	-	-	-	4.6	-	Van-Ozalp	6
235	201611241640	24.11.2016	16:40:43	38.5250	43.8730	9.2	-	-	-	4.0	-	Van-Ozalp	4
236	201612122242	12.12.2016	22:42:08	38.5330	43.8653	10.7	-	-	-	4.4	-	Van-Ozalp	10
237	201702101227	10.02.2017	12:27:31	39.7770	42.5345	4.5	-	-	-	4.5	-	Agri-Eleskirt	21
238	201702191736	19.02.2017	17:36:42	37.5161	42.6993	15.0	-	-	-	4.1	-	Sirnak-Beytussebap	3
239	201704182240	18.04.2017	22:40:54	37.5431	42.6735	14.2	-	-	-	4.0	-	Sirnak-Merkez	8
240	201705011630	1.05.2017	16:30:40	38.2651	42.9285	12.4	-	-	-	4.5	-	Van-Gevas	13
241	201705011809	1.05.2017	18:09:04	38.2660	42.9448	13.7	-	-	-	4.1	-	Van-Gevas	2
242	201709180941	18.09.2017	09:41:07	39.1863	43.6230	4.3	-	-	-	4.1	-	Van-Ercis	6
243	201710041846	4.10.2017	18:46:48	38.8105	43.4613	22.4	-	-	-	4.0	-	Van-Tusba	5
244	201805061818	6.05.2018	18:18:14	39.9073	43.2470	17.2	-	-	-	4.2	-	Agri-Merkez	17
245	201805232210	23.05.2018	22:10:43	38.2403	42.3920	3.7	-	-	-	4.2	-	Bitlis-Hizan	13
246	201806141542	14.06.2018	15:42:21	38.9413	43.5556	13.7	-	-	-	4.5	-	Van-Tusba	16
247	201806230350	23.06.2018	03:50:03	38.6235	44.3003	8.5	-	-	-	4.7	-	Van-Saray	11
248	201807210615	21.07.2018	06:15:13	39.0375	44.1565	6.4	-	-	-	4.5	-	Van-Çaldıran	9
249	201810180803	18.10.2018	08:03:17	39.2690	42.7146	11.1	-	-	-	4.2	-	Agri-Patnos	16

EK-2. Van Gölü Havzası ve yakın çevresinde 1976-2019 yılları arasında meydana gelmiş; $4.0 \leq M_w$ ve $a \leq 5.0$ cm/s² olan “Deprem İvme Veri Kataloğu”

No	İstasyon Adı	İstasyon	İstasyon Koordinatı		Depremin	Episantr Koordinatı		R _{epi} (km)	R _{hypo} (km)	PGA (gal)		Derinlik (km)	M _w	Zemin Sınıfı
		Kodu	Enlem (K)	Boydam (D)	Tarihi	Enlem (K)	Boydam (D)			N-S	E-W			
1	Muradiye		39.12	43.91	11.04.1979			19		46	45.4		4.9	
2	Erzurum	2501	40.35	42.18	30.10.1983			92.7		35.3	24.6		6.8	
	Horasan		40.35	42.18	30.10.1983			34.1		173.4	149.5		6.8	
3	Muradiye		39.11	44.12	20.04.1988			37.4		49.6	51.1		5.1	
4	Van	6501	38.60	43.33	26.02.1995			12.6		28	15.6		4.8	
5	Horasan		39.35	41.68	1.06.1997			87.7		47.4	38		4.5	
6	Van	6501	38.47	43.39	12.10.1997			22		15	19		4.7	
7	Malazgirt		38.76	42.40	3.11.1997			41.2		20.9	21.9		5.0	
8	Horasan		39.91	41.61	13.04.1998			50.2		17.4	17.5		4.4	
9	Horasan		40.22	41.94	1.05.1998			27.9		40	31.7		4.0	
10	Bingöl	1201	38.77	40.23	8.10.1998			26.8		26	15		4.5	
11	Horasan		39.82	42.13	19.12.1998			25.1		18.8	11.9		4.7	
12	Erzurum	2501	39.53	41.28	20.07.1999			41.5		26	15		4.2	
13	Erzurum	2501	39.85	41.55	29.05.2001			25.3		18.8	11.9		4.7	
14	Erzurum	2501	39.82	41.62	10.07.2001			31.7		25.5	19.7		5.7	
15	Van	6501	38.61	43.29	2.12.2001			15.9		12.3	30.8		4.6	
16	Tercan		39.45	39.77	27.01.2003			64.7		21.5	17		6.8	
17	Bingöl	1201	39.06	40.36	3.03.2003			23.3		30	25		4.6	
18	Bingöl	1201	38.96	40.34	1.05.2003			22.1		15.9	9.2		4.0	
19	Bingöl	1201	39.09	40.25	1.05.2003			38.1		19.5	20.3		4.4	
20	Bingöl	1201	38.97	40.53	1.05.2003			18.9		16.1	13.1		4.6	
	Bingöl	1201	38.97	40.53	1.05.2003			18.9		152.6	74.3		4.6	
21	Bingöl	1201	38.94	40.51	1.05.2003			14.9		545.5	276.3		6.4	
	Bingöl	1201	38.94	40.51	1.05.2003			14.9		8.1	7.2		6.4	
22	Atapark Jandrm.K.K.		39.07	40.37	8.05.2003			24		15.7	21.7		4.7	
	Bingöl	1201	39.07	40.37	8.05.2003			29.8		9.4	12.1		4.7	
23	Bingöl	1201	39.07	40.43	10.05.2003			30		18.4	9.7		4.2	
24	Bingöl	1201	39.04	40.36	10.05.2003			28.7		19.3	13.4		4.6	
25	Bingöl	1201	39.02	40.44	12.05.2003			24.4		9.9	14.1		4.1	
26	Bingöl	1201	39.00	40.44	12.05.2003			22.2		7.4	13.2		4.5	
27	Bingöl	1201	39.04	40.42	16.05.2003			17.4		11	13.2		4.4	
28	Tercan		39.74	40.91	25.03.2004			44.3		9	3.7		5.1	
29	Tercan		39.87	40.86	28.03.2004			41.1		11.1	5.4		5.3	
30	Bingöl	1201	38.99	40.38	17.07.2004			14.8		13.9	-		4.0	
31	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	30.04.2011	38.1832	42.5258	45.4	45.7	6.1	9.6	5	4.5	D ₂
32	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	23.10.2011	38.6403	43.1867	92.3	93.8	4.3	4.1	16.8	5.0	D ₂
33	Tatvan Meteor. Mud.	1301	38.50	42.28	23.10.2011	38.6545	43.1237	75.2	76.5	12.9	11.4	14	5.9	C ₁
	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	23.10.2011	38.6545	43.1237	87.3	88.4	14.3	20.9	14	5.9	D ₂
	Siirt Meteor. Mud.	5601	37.91	41.93	23.10.2011	38.6545	43.1237	133.3	134	2.3	2.2	14	5.9	C ₂

34	Muradiye Meteo.Md.	6503	38.99	43.76	23.10.2011	38.689	43.4657	42.2	46.3	178.5	169.5	19	7.1	C ₁
	Malazgirt Meteo.Md.	4902	39.14	42.53	23.10.2011	38.689	43.4657	95.2	97.1	44.5	56	19	7.1	C ₁
	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	23.10.2011	38.689	43.4657	117.2	118.7	89.7	102.2	19	7.1	D ₂
	Agri Bay.ve İsk.Md.	401	39.72	43.02	23.10.2011	38.689	43.4657	120.9	122.4	18.5	15.1	19	7.1	C ₁
	Siirt Meteor. Mud.	5601	37.91	41.93	23.10.2011	38.689	43.4657	160	161.1	9.9	9.2	19	7.1	C ₂
	Mus Bay.ve İsk.Md.	4901	38.76	41.50	23.10.2011	38.689	43.4657	170.3	171.3	10.3	6.9	19	7.1	C ₁
	Solhan Meteor. Mūd.	1211	38.97	41.05	23.10.2011	38.689	43.4657	211.1	211.9	4.6	4.2	19	7.1	B ₁
	Karlıova Beld.Garaji	1206	39.29	41.01	23.10.2011	38.689	43.4657	221.9	222.7	7.5	11.1	19	7.1	C ₃
35	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	23.10.2011	38.7105	43.3357	106.8	107.5	7.3	5.9	12.3	4.9	D ₂
36	Muradiye Meteo.Md.	6503	38.99	43.76	23.10.2011	38.7152	43.3715	45.6	47.2	34.5	38	12	4.6	C ₁
37	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	23.10.2011	38.7435	43.283	103.4	104.7	6.9	9.2	16.6	4.9	D ₂
38	Muradiye Meteor. M.	6503	38.99	43.76	23.10.2011	38.7607	43.5442	31.8	32.5	22	22	7	4.2	C ₁
39	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	23.10.2011	38.7643	43.2523	101.5	101.8	5.8	7.4	7	4.8	D ₂
40	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	23.10.2011	38.777	43.372	111.9	113.4	14.3	13.7	18.8	5.9	D ₂
41	Muradiye Meteor. M.	6503	38.99	43.76	23.10.2011	38.8185	43.3338	41.7	45.2	34.5	38	17.3	5.5	C ₁
	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	23.10.2011	38.8185	43.3338	110.3	111.6	13.1	10.2	17.3	5.5	D ₂
42	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	24.10.2011	38.6865	43.5322	23.3	30	7	5.5	18.9	4.7	C ₁
43	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	24.10.2011	38.6882	43.316	21.9	22	5.6	5.9	2.1	4.1	C ₁
44	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	24.10.2011	38.6907	43.3418	21.5	22.5	3.9	6.3	6.7	4.3	C ₁
45	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	24.10.2011	38.693	43.1475	30.6	35.8	7.9	13.1	18.7	4.8	C ₁
	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	24.10.2011	38.693	43.1475	90.4	92.4	5.6	7.7	18.7	4.8	D ₂
46	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	24.10.2011	38.7	43.2728	101.2	101.3	2.5	6.6	5	4.3	D ₂
47	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	24.10.2011	38.711	43.5865	28.1	31.8	8.7	7.7	14.9	5.0	C ₁
48	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	24.10.2011	38.7217	43.136	90.4	92.5	5	5.7	19.3	4.5	D ₂
49	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	25.10.2011	38.7605	43.3848	28.6	29.3	4.3	3.7	6.3	4.0	C ₁
50	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	25.10.2011	38.8292	43.5943	39.9	43.9	18.7	16.8	18.3	5.5	C ₁
	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	25.10.2011	38.8292	43.5943	132.1	133.3	4.6	4.7	18.3	5.5	D ₂
51	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	26.10.2011	38.683	43.5795	25.3	28.9	4.5	4	14.1	4.4	C ₁
52	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	26.10.2011	38.7045	43.199	28.5	29.4	7.7	12.2	7.3	4.8	C ₁
53	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	26.10.2011	38.738	43.5005	27.5	27.9	6.6	6.5	5	4.3	C ₁
54	Muradiye Meteo.Md.	6503	38.99	43.76	27.10.2011	38.9012	43.5257	22.8	23.3	5	4.5	5	4.1	C ₁
55	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	28.10.2011	38.557	43.1673	21.3	24	4.9	5.2	11.2	4.1	C ₁
56	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	29.10.2011	38.5842	43.1635	22.6	23.6	4.3	4.9	7	4.2	C ₁
57	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	29.10.2011	38.6595	43.145	28.3	29.1	3.2	3.9	7	4.7	C ₁
58	Muradiye Meteo.Md.	6503	38.99	43.76	29.10.2011	38.8943	43.5507	21.2	26.6	24	19.5	16	4.9	C ₁
	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	29.10.2011	38.8943	43.5507	45.4	48.1	3.9	4.2	16	4.9	C ₁
59	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	30.10.2011	38.7168	43.5823	28.5	35.3	5.8	7	20.9	4.5	C ₁
60	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	2.11.2011	38.7813	43.3417	31.3	31.7	4.7	4.2	5	4.3	C ₁
61	Muradiye Meteo.Md.	6503	38.99	43.76	2.11.2011	38.8435	43.5308	25.9	33.8	4.5	5.5	21.7	4.8	C ₁
	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	2.11.2011	38.8435	43.5308	39.4	45	4	4.1	21.7	4.8	C ₁
62	Muradiye Mete.Mud.	6503	38.99	43.76	2.11.2011	38.8465	43.5983	21.4	22.5	4.5	5.5	7	4.8	C ₁
63	Muradiye Mete.Mud.	6503	38.99	43.76	7.11.2011	38.9182	43.4845	25.4	26.3	6.5	8.5	7.1	4.5	C ₁
64	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	8.11.2011	38.706	43.1082	34.1	34.8	9.4	6.6	6.9	5.4	C ₁

	Edremit TOKI Sağl.	6510	38.41	43.27	8.11.2011	38.706	43.1082	35.3	35.9	3.4	5.5	6.9	5.4	B ₂
	Muradiye Mete.Mud.	6503	38.99	43.76	8.11.2011	38.706	43.1082	64.8	65.2	19.5	15.5	6.9	5.4	C ₁
65	Edremit TOKI Sağl.	6510	38.41	43.27	9.11.2011	38.4472	43.2638	3.7	7.1	65.7	102.6	6.1	5.6	B ₂
	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	9.11.2011	38.4472	43.2638	13.5	14.8	148.1	245.9	6.1	5.6	C ₁
	Muradiye Mete.Mud.	6503	38.99	43.76	9.11.2011	38.4472	43.2638	74.2	74.4	13	9.5	6.1	5.6	C ₁
	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	9.11.2011	38.4472	43.2638	97	97.2	3.9	5.8	6.1	5.6	D ₂
66	Edremit TOKI Sağl.	6510	38.41	43.27	9.11.2011	38.4647	43.2268	6.7	7.1	8.8	7.1	2.5	4.4	B ₂
	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	9.11.2011	38.4647	43.2268	15.8	16	8	10.8	2.5	4.4	C ₁
67	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	9.11.2011	38.4857	43.2502	13.3	14.2	11.6	13.4	4.9	4.4	C ₁
68	Edremit TOKI Sağl.	6510	38.41	43.27	9.11.2011	38.4905	43.2342	9	12.3	6.6	8.8	8.4	4.4	B ₂
	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	9.11.2011	38.4905	43.2342	14.7	16.9	8.2	6.6	8.4	4.4	C ₁
69	Edremit TOKI Sağl.	6510	38.41	43.27	12.11.2011	38.4903	43.256	8.5	9.9	13.7	13	5	4.2	B ₂
	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	12.11.2011	38.4903	43.256	12.8	13.7	12.3	18.5	5	4.2	C ₁
70	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	12.11.2011	38.6327	43.1775	24.2	30.7	4	3.5	18.9	4.5	C ₁
	Edremit TOKI Sağl.	6510	38.41	43.27	12.11.2011	38.6327	43.1775	25.5	31.8	2	2.7	18.9	4.5	B ₂
71	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	14.11.2011	38.725	43.1118	35.3	39.9	20.8	23.3	18.8	5.1	C ₁
	Edremit TOKI Sağl.	6510	38.41	43.27	14.11.2011	38.725	43.1118	37.1	41.6	19.5	13.5	18.8	5.1	B ₂
	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	14.11.2011	38.725	43.1118	88.6	90.5	10.9	13.5	18.8	5.1	D ₂
72	Muradiye Met. Mud.	6503	38.99	43.76	17.11.2011	38.8805	43.5815	19.9	24.4	7	6.5	14.2	4.5	C ₁
73	Ozalp Meteor. Mud.	6508	38.66	43.98	18.11.2011	38.8022	43.8528	19.4	21	9.3	7.4	8	5.2	B ₂
	Muradiye Met. Mud.	6503	38.99	43.76	18.11.2011	38.8022	43.8528	22.3	23.7	3.2	6.3	8	5.2	C ₁
	Van AFAD Garaj	6509	38.52	43.36	18.11.2011	38.8022	43.8528	53.2	53.7	3.2	6.3	8	5.2	C ₂
74	Muradiye Met. Mud.	6503	38.99	43.76	20.11.2011	38.857	43.7483	14.9	15.7	6	5.5	5	4.1	C ₁
75	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	21.11.2011	38.68	43.2075	39.4	43.4	7.8	7.8	18.1	4.6	C ₄
76	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	21.11.2011	38.6885	43.223	38.1	42.1	6.3	6	17.9	4.5	C ₄
77	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	26.11.2011	38.4527	43.2973	10.7	11.8	13.9	17.3	5	4.2	C ₁
78	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	30.11.2011	38.4742	43.2942	9.9	17.8	89.9	104.8	14.8	5.0	C ₁
	Gevas Meteor. Mud.	6507	38.30	43.12	30.11.2011	38.4742	43.2942	25	29	7.1	6.5	14.8	5.0	C ₄
	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	30.11.2011	38.4742	43.2942	60.8	62.5	6.1	8.8	14.8	5.0	C ₄
79	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	2.12.2011	38.7312	43.2808	32.5	38.7	9.1	8.5	21	4.0	C ₄
80	Van AFAD Garaj	6509	38.52	43.36	4.12.2011	38.456	43.323	7.8	24.9	58.9	48.7	23.6	4.9	C ₂
	Van Bay.veİsk.Mud.	6501	38.50	43.40	4.12.2011	38.456	43.323	8.7	25.2	59.8	47.7	23.6	4.9	C ₁
	Gevas Meteor. Mud.	6507	38.30	43.12	4.12.2011	38.456	43.323	25.1	34.5	5.8	6.2	23.6	4.9	C ₄
	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	4.12.2011	38.456	43.323	62.7	67	5.9	5.8	23.6	4.9	C ₄
81	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	6.12.2011	38.833	43.616	31.7	35.3	7.4	6.9	15.4	4.7	C ₄
82	Muradiye Met. Md.	6503	38.99	43.76	10.12.2011	38.9117	43.5733	18.6	21.1	6	7	10	4.2	C ₁
	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	10.12.2011	38.9117	43.5733	23.6	25.6	11.5	9.4	10	4.2	C ₄
83	Van Bay.ve İsk.Mud.	6501	38.50	43.40	12.12.2011	38.597	43.1958	20.7	30.2	4.3	2.8	22	4.3	C ₁
84	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	21.12.2011	38.7318	43.2163	33.7	34.4	4.7	5.9	6.8	4.4	C ₄
	Bitlis-DSI 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	21.12.2011	38.7318	43.2163	97.4	97.7	5.1	5	6.8	4.4	D ₂
85	Muradiye Meteo.Md.	6503	38.99	43.76	27.12.2011	38.9225	43.6352	13.4	14.5	6.5	8.5	5.7	4.4	C ₁
86	Muradiye Meteo.Md.	6503	38.99	43.76	27.12.2011	38.9395	43.6328	12.6	14.2	5.5	6.5	6.6	4.1	C ₁
87	Van Bay.ve İsk.Mud.	6501	38.50	43.40	20.01.2012	38.7032	43.4975	23.7	31.7	8.9	9	21	4.5	C ₁

	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	20.01.2012	38.7032	43.4975	37.8	43.2	6	6.4	21	4.5	C ₄
	Muradiye Meteo.Md.	6503	38.99	43.76	20.01.2012	38.7032	43.4975	39.3	44.6	5	4.2	21	4.5	C ₁
88	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	29.01.2012	38.8345	43.5865	29.7	34.3	7.3	8.1	17	4.2	C ₄
89	Van Bay.ve İsk.Mud.	6501	38.50	43.40	17.02.2012	38.7432	43.216	31.2	32	8.4	9.3	7.0	4.6	C ₁
90	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	17.02.2012	38.7432	43.216	32.5	33.2	9.6	12.4	7.0	4.6	C ₄
91	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	20.02.2012	38.7567	43.2463	30.3	38	10.2	9.1	23	4.1	C ₄
92	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	24.02.2012	38.8278	43.5653	29	36.4	5.7	5.3	22.1	4.5	C ₄
93	Ozalp Meteor. Mud.	6508	38.66	43.98	11.03.2012	38.5527	44.0867	15.1	15.5	13.6	11.5	3.9	4.2	B ₂
94	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	23.03.2012	38.9013	43.6092	26.9	27.6	6.2	4.9	6.5	4.4	C ₄
95	Muradiye Meteo.Md.	6503	38.99	43.76	24.03.2012	38.8948	43.6553	14.1	17.1	10.5	13	9.7	4.2	C ₁
	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	24.03.2012	38.8948	43.6553	30.7	32.2	4.6	6.7	9.7	4.2	C ₄
96	Malazgirt Meteo.Md.	4902	39.14	42.53	26.03.2012	39.234	42.276	24.1	29.5	57	58.5	17	5.0	C ₁
	Mus Bay.ve İsk.Md.	4901	38.76	41.50	26.03.2012	39.234	42.276	85.1	86.8	4.5	4.2	17	5.0	C ₁
	Bitlis-DSİ 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	26.03.2012	39.234	42.276	86.1	87.8	3.3	4.6	17	5.0	D ₂
97	Muradiye Meteo.Md.	6503	38.99	43.76	4.04.2012	38.8592	43.5882	21	24.6	7.0	7.0	12.8	4.4	C ₁
	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	4.04.2012	38.8592	43.5882	28	30.8	9.7	11.4	12.8	4.4	C ₄
98	Karlıova Beled. Grj.	1206	39.29	41.01	4.04.2012	39.3425	41.0437	6.2	15.7	40.5	46.4	14.5	4.3	C ₂
	Solhan Meteor. Mud.	1211	38.97	41.05	4.04.2012	39.3425	41.0437	41.9	44.3	5.4	6.8	14.5	4.3	B ₁
99	Van Bay.ve İsk.Mud.	6501	38.50	43.40	13.04.2012	38.6883	43.233	25.3	32.6	5.1	6.2	20.6	4.3	C ₁
100	Caldıran Kaymk.	6505	39.14	43.90	13.04.2012	39.0488	44.1937	27	27.5	9.0	9.2	5	4.3	C ₂
101	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	18.04.2012	38.904	43.5255	20.7	24.5	6.8	10.3	13.2	4.2	C ₄
102	Ozalp Meteor. Mud.	6508	38.66	43.98	24.06.2012	38.7333	43.6672	28.2	36.8	5.2	4.7	23.6	5.0	B ₂
	Muradiye Meteo.Md.	6512	38.99	43.76	24.06.2012	38.7333	43.6672	29.7	38	11.2	9.8	23.6	5.0	C ₁
	Van Bay.ve İsk.Mud.	6501	38.50	43.40	24.06.2012	38.7333	43.6672	34.5	41.8	4.1	4.5	23.6	5.0	C ₁
	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	24.06.2012	38.7333	43.6672	42.7	48.8	8.8	13.4	23.6	5.0	C ₄
103	Muradiye Meteor. M.	6512	38.99	43.76	27.06.2012	39.0075	43.6643	8.8	8.8	31.6	26.7	1.2	4.0	C ₁
104	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	28.06.2012	38.749	43.3507	30.1	37.5	9.1	9.2	22.3	4.2	C ₄
105	Ercis Meteor. Mud.	6506	39.02	43.34	24.07.2012	38.646	43.3355	41.6	43.4	9.3	8.7	12.7	4.3	C ₄
106	Van Bay.ve İsk.Mud.	6501	38.50	43.40	31.07.2012	38.663	43.0523	35.2	41.8	3	8.2	22.5	4.2	C ₁
107	Adilcevaz Onk. Hast.	1303	38.80	42.76	23.09.2012	38.7085	42.9545	19.5	26.9	9.1	10.8	18.6	4.3	B ₄
	Bitlis-DSİ 173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	23.09.2012	38.7085	42.9545	75.1	77.3	8.2	12.4	18.6	4.3	D ₂
108	Van Bay.ve İsk.Mud.	6501	38.50	43.40	12.02.2013	38.5935	43.22	18.7	29.2	11	8.3	22.4	4.3	C ₁
109	Bingöl Karlıova	1206	39.29	41.01	15.05.2013	39.0063	41.1835	35	38.3	4	4.2	15.6	4.4	
	Muş Varto	4905	39.18	41.45	15.05.2013	39.0063	41.1835	29	32.9	9.3	9.6	15.6	4.4	
	Bingöl Solhan	1211	39.00	41.18	15.05.2013	39.0063	41.1835	12	19.7	16.4	14.6	15.6	4.4	
110	Van Bay.ve İsk.Mud.	6501	38.50	43.40	12.06.2013	38.62	43.69	29	33.1	4.7	5.4	15.9	4.6	
111	Van Erciş	6506	39.02	43.34	16.06.2013	38.88	43.58	26	31.4	4.3	7.1	17.5	4.0	
112	Muş Varto	4905	39.18	41.45	16.09.2013	39.03	41.43	16	25.2	17.6	19.3	19.5	4.5	
113	Muş Çev.ve Şeh.Md.	4901	38.76	41.50	17.09.2013	39.04	41.40	32	37.9	7.22	7.15	20.3	5.1	
	Muş Korkut Kaymkl.	4904	38.74	41.77	17.09.2013	39.04	41.40	46	50.3	28.65	16.23	20.3	5.1	
	Muş Varto	4905	39.18	41.45	17.09.2013	39.04	41.40	16	25.8	34.96	32.15	20.3	5.1	
	Bitlis DSİ-173.Şube	1302	38.47	42.16	17.09.2013	39.04	41.40	91.0	93.2	5.39	7.77	20.3	5.1	
	Bingöl Karlıova	1206	39.29	41.01	17.09.2013	39.04	41.40	44	48.4	12.3	9.8	20.3	5.1	
114	Muş Varto	4905	39.18	41.45	17.09.2013	39.08	41.38	12	25.0	4.9	6.3	22.0	4.0	
115	Van Erciş	6506	39.02	43.34	30.10.2013	38.69	43.25	38	44.0	5.8	4.4	22.1	4.3	

116	Van Bay.ve İsk.Mud.	6501	38.50	43.40	22.11.2013	38.69	43.22	26	33.0	3.6	5.4	20.3	4.5	
	Van Erciş	6506	39.02	43.34	22.11.2013	38.69	43.22	38	43.1	7.4	7.8	20.3	4.5	
117	Van Erciş	6506	39.02	43.34	24.12.2013	38.86	43.51	23	25.4	5.2	4.4	10.8	4.0	
118	Van Erciş	6506	39.02	43.34	18.02.2014	38.85	43.55	26	26.6	12.2	15.8	5.8	4.6	
119	Van Caldıran	6505	39.14	43.90	27.05.2014	38.86	43.55	42	43.8	2.4	5.4	12.4	4.3	
	Van Erciş	6506	39.02	43.34	27.05.2014	38.86	43.55	26	28.8	9.8	8.9	12.4	4.3	
120	Van Bay.ve İsk.Mud.	6501	38.50	43.40	11.06.2014	38.59	43.12	27	27.9	4.7	6.4	6.9	4.4	
121	Bitlis DSİ-173.Şb.M.	1302	38.47	42.16	30.10.2014	38.72	42.11	28	30.6	6.0	5.6	12.2	4.4	
	Muş Korkut Kaymk.	4904	38.74	41.77	30.10.2014	38.72	42.11	29	31.5	6.5	7.0	12.2	4.4	
122	Van Gevaş Meteor.	6507	38.30	43.12	21.01.2015	38.31	42.82	26	29.3	7.8	9.9	13.6	4.4	
123	Van Erciş	6506	39.02	43.34	28.04.2015	38.93	43.52	19	25.1	7.3	9.3	16.5	4.0	
124	Hakkari Mrkz. Mete.	3001	37.57	43.79	1.06.2015	37.51	43.88	11	16.8	21.6	48.5	12.7	4.0	
125	Bitlis DSİ-173.Şube	1302	38.47	42.16	23.06.2015	38.68	43.18	92	96.9	3.4	5.1	30.5	4.5	
	Van Çevr.veŞeh.Md.	6501	38.50	43.40	23.06.2015	38.68	43.18	28	41.4	9.0	6.9	30.5	4.5	
	Van Erciş	6506	39.02	43.34	23.06.2015	38.68	43.18	40	50.3	7.0	6.7	30.5	4.5	
	Van Edremit-TOKİ-Sğ.	6513	38.41	43.27	23.06.2015	38.68	43.18	31	43.5	6.1	4.5	30.5	4.5	
126	Van Caldıran	6505	39.14	43.90	29.10.2015	39.12	43.74	14	14.8	58.4	77.4	4.9	4.8	
	Van Erciş	6506	39.02	43.34	29.10.2015	39.12	43.74	37	37.3	6.3	7.5	4.9	4.8	
	Van Muradiye Gıda-T	6512	38.99	43.76	29.10.2015	39.12	43.74	15	15.8	42.9	43.7	4.9	4.8	
127	Van Erciş	6506	39.02	43.34	7.01.2016	38.92	43.51	20	22.4	14.3	19.2	10.2	4.4	
	Van Muradiye Gıda-T	6512	38.99	43.76	7.01.2016	38.92	43.51	23	25.1	8.8	8.2	10.2	4.4	
128	Van Erciş	6506	39.02	43.34	7.01.2016	38.92	43.53	18	20.1	9.0	7.3	9.0	4.0	
129	Van Erciş	6506	39.02	43.34	19.04.2016	38.90	43.55	23	25.5	4.3	5.8	10.9	4.0	
130	Muş Korkut Kaymk.	4904	38.74	41.77	23.10.2016	38.44	41.94	36	36.8	6.5	6.1	7.6	4.2	
131	Van Ozalp	6508	38.66	43.98	23.11.2016	38.48	43.95	20	23.1	5.34	3.92	11.6	4.1	
132	Van Ozalp	6508	38.66	43.98	23.11.2016	38.50	43.56	40	40.5	9.7	8.7	6.3	4.6	
133	Van Ozalp	6508	38.66	43.98	12.12.2016	38.53	43.87	17	20.1	9.1	14.9	10.7	4.4	
134	Van Gevaş Meteorl.	6507	38.30	43.12	1.05.2017	38.27	42.93	17	21.1	19.5	24.0	12.4	4.5	
135	Van Caldıran	6505	39.14	43.90	18.09.2017	39.19	43.62	25	25.4	4.6	5.3	4.3	4.1	
	Van Erciş	6506	39.02	43.34	18.09.2017	39.19	43.62	31	31.3	6.2	4.5	4.3	4.1	
	Muradiye Gıda-Tarm.	6512	38.99	43.76	18.09.2017	39.19	43.62	25	25.4	6.5	6.9	4.3	4.1	
136	Van Erciş	6506	39.02	43.34	4.10.2017	38.81	43.46	26	34.3	9.2	5.5	22.4	4.0	
137	Ağrı Çev. ve Şeh. Md.	0401	39.72	43.02	6.05.2018	39.72	43.02	29	33.7	4.0	5.5	17.2	4.2	
138	Van Erciş	6506	39.02	43.34	14.06.2018	38.94	43.56	21	25.1	8.0	8.8	13.7	4.5	
	Muradiye Gıda-Tarım	6512	38.99	43.76	14.06.2018	38.94	43.56	19	23.4	5.4	6.0	13.7	4.5	
139	Van Caldıran	6505	39.14	43.90	23.06.2018	38.62	44.30	66	66.5	8.5	11.6	8.5	4.7	
	Van Ozalp	6508	38.66	43.98	23.06.2018	38.62	44.30	28	29.3	10.2	6.9	8.5	4.7	
140	Van Caldıran	6505	39.14	43.90	21.07.2018	39.04	44.16	25	25.8	41.4	54.4	6.4	4.5	
	Muradiye Gıda-T.	6512	38.99	43.76	21.07.2018	39.04	44.16	34	34.6	8.3	10.4	6.4	4.5	
141	Ağrı Çev.ve Şeh.Md.	0401	39.72	43.02	18.10.2018	39.27	42.71	56	57.1	4.9	5.8	11.1	4.2	
	Ağrı Tutak Gıda-Tar.	0404	39.54	42.77	18.10.2018	39.27	42.71	30	32.0	32.4	16.0	11.1	4.2	
	Muş Malazgirt Met.	4906	39.14	42.53	18.10.2018	39.27	42.71	21	23.7	15.8	11.2	11.1	4.2	

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Şehmus ÇELİK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Gercüş-Batman, 02.08.1983
Telefon : (506) 773 56 00
Faks : -
e-mail : kuvars72@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Fatih Lisesi – Batman, Merkez	2001
Üniversite	: Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl., Van	2008
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, FBE, Jeoloji Müh. ABD.	2019
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010-2015	FerNas İnşaat-Kozluk Garzan Barajı	Saha Mühendisi
2015-2018	Ciner Holding – Madenköy Bakır İşlet.	Vardiya Amiri
2018-2019	TİPİC – Batman Bölge Müdürlüğü	Sond. Akışk. Müh.

UZMANLIK ALANI: Jeoloji Mühend., Uygulamalı Jeoloji, Maden, Petrol, Sondaj

YABANCI DİLLER: İngilizce - Zayıf