

Cilt
Volume 2

Sayı
Number 2

Aralık
December 2020



T.C. İÇİŞLERİ BAKANLIĞI
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

TÜRK DEPREM ARAŞTIRMA DERGİSİ

TURKISH
JOURNAL OF
EARTHQUAKE
RESEARCH



TUSAK
Türkiye Ulusal
Sismoloji ve Araştırma
Kurumu

e-ISSN: 2687-301X

Ankara / TÜRKİYE

Türk Deprem Araştırma Dergisi (TDAD)

Turkish Journal of Earthquake Research
(*Turk. J. Earthq. Res.*)

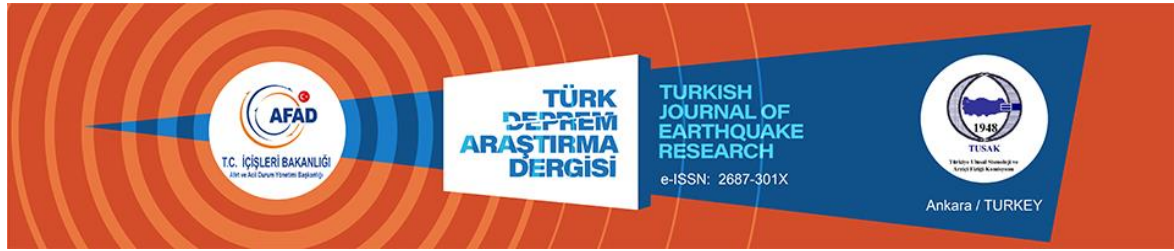
(c) 2020

Cilt 2 - Sayı 2

Türkiye Ulusal Sismoloji ve Arziçi Fiziği Komisyonu (TUSAK)
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)

25.12.2020

Sıra	İÇİNDEKİLER	Sayfa No
1	Spektrum Şiddeti Perspektifinden 2018 Türkiye Deprem Tehlike Haritası Değerlendirmesi <i>Vesile Hatun Akansel, Berat Feyza Soysal, Koray Kadaş ve Hakkı Polat Gülkan</i>	115
2	Manisa Akhisar Civarındaki Deprem Aktivitesi ile Gutenberg-Richter Parametrelerinin Zamansal ve Mekânsal Özelliklerinin İncelenmesi <i>Haluk Eyidoğan</i>	138
3	Deprem ve Mikrotremor Kayıtları Kullanılarak Elde Edilen Yatay/Düşey Spektral Oranların Karşılaştırılması: Amasya Örneği <i>Erkan Ateş</i>	160
4	Betonarme İstinat Duvarlarının Geoteknik Tasarımında Etkili Parametrelerin 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Değerlendirilmesi <i>İlknur Dalyan, Muhammed Selahaddin Akın ve Zülal Akbay Arama</i>	176
5	EstuNet: Eskişehir ve Bursa Büyükşehirleri için Konumsal Veritabanlı Yeni Bir Zayıf/Kuvvetli Yer Hareketi Ağı, Batı Anadolu, Türkiye <i>Muammer Tün, Sunay Mutlu ve Emrah Pekkan</i>	193



An Evaluation of the 2018 Seismic Hazard Map of Turkey on the Basis of Spectrum Intensity

Vesile Hatun Akansel¹, Berat Feyza Soysal², Koray Kadas² and Hakki Polat Gulkan³

¹ Mugla Sitki Kocman University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Mugla, Turkey

² Middle East Technical University, Faculty of Engineering Department of Civil Engineering, Ankara, Turkey

³ Baskent University, Faculty of Engineering Department of Civil Engineering, Ankara, Turkey

ORCID: 0000-0002-5445-2606, 0000-0002-4911-3757, 0000-0003-3379-193X, 0000-0001-7542-7082

Keywords

Seismic hazard map, Acceleration Spectrum Intensity, Turkish earthquake codes, Economic implication of code requirements

Highlights

- * To quantify the economic implications and safety dimension of the 2018 Seismic Hazard Map of Turkey
- * The comparison of spectra calculated according to the 2018 Turkish Building Earthquake Code and the 2007 Specification for Structures to be Built in Disaster Areas
- * Contour maps for Acceleration Spectrum Intensity ratios

Acknowledgements

Third author is financially supported with PhD Scholarship Program by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK). The technical support provided by Mr. Okan Cagri Bozkurt in the mapping part of the study is acknowledged.

Aim

In this study, the new seismic hazard map of Turkey and its predecessor were compared using the Peak Ground Acceleration and Acceleration Spectrum Intensity. Using 475-year earthquake values for grid locations of Turkey, the safety dimension and economic implications of the 2018 Seismic Hazard Map of Turkey were investigated.

Location

Study area is located in Turkey.

Methods

The ASI and PGA were compared for the current and previous hazard maps.

Results

The most prominent changes in the seismicity, according to ASI, were observed near fault regions and low seismic zones in the previous map.

Supporting Institutions

Mugla Sitki Kocman University, Middle East Technical University, Baskent University.

How to cite

Akansel V.H., Soysal B.F., Kadas K., Gulkan H.P., 2020. An Evaluation of the 2018 Seismic Hazard Map of Turkey on the Basis of Spectrum Intensity, *Turk. J. Earthq. Res.* 2 (2), 115-137, <https://doi.org/10.46464/tdad.737433>

Manuscript

Research Article

Received: 14.05.2020

Revised: 26.07.2020

Accepted: 11.08.2020

Printed: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.737433

Corresponding Author

Vesile Hatun Akansel

Email: vesileakansel@gmail.com

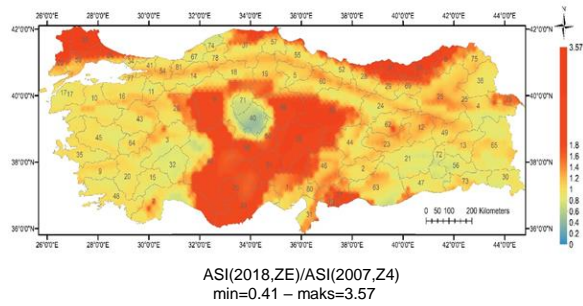


Figure
Acceleration Spectrum Intensity Ratio for Soil Type, ZE



Spektrum Şiddeti Perspektifinden 2018 Türkiye Deprem Tehlike Haritası Değerlendirmesi

Vesile Hatun Akansel¹, Berat Feyza Soysal², Koray Kadaş² ve Hakkı Polat Gülkan³

¹ Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Muğla, Türkiye

² Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

³ Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye
ORCID: 0000-0002-5445-2606, 0000-0002-4911-3757, 0000-0003-3379-193X, 0000-0001-7542-7082

ÖZET

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği güncellenmiş bir deprem tehlike haritasına dayanmaktadır. Bu çalışma, halen geçerli olan harita ile 1996'da hazırlanmış olan deprem bölgeleri haritası arasındaki farkı spektral ivme şiddeti (ASİ) ölçütü ile incelemektedir. Ölçüt, bina hesabında kullanılan ivme spektrumunun farklı zemin grupları için karakteristik bina periyot sınırları arasında altında kalan alanı mukayesesi üzerine kurgulanmıştır. Bu amaçla, Türkiye'yi kapsayan eş aralıklı konumlandırılmış noktalar için 475 yıllık tekerrür süresine sahip deprem yer hareketi verileri kullanılmıştır. Sürümleri 2007 ve 2018 olan deprem yönetmelikleri dikkate alınarak elastik spektrum eğrileri oluşturulmuş ve ASİ hesaplanmıştır. Mevcut ve önceki ASİ oranını gösteren konturlar, tehlikenin iki harita arasında ülke genelinde nasıl değiştiğini göstermektedir. Bu şekilde, güncellenen haritanın ekonomik etkilerini ve güvenlik boyutunu bilimsel yoldan ölçmek mümkün hale gelmiştir.

Anahtar kelimeler

Deprem tehlike haritası, İvme Spektrum Şiddeti, Türk deprem yönetmelikleri, Yönetmelik gerekliliklerinin ekonomik etkisi

Öne Çıkanlar

- * 2018 Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nın ekonomik etkilerinin ve güvenlik boyutunun ölçülmesi
- * 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik ile spektrumlarının karşılaştırılması
- * İvme Spektrum Şiddeti oranı ile kontur haritalarının oluşturulması

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 14.05.2020
Düzeltilme: 26.07.2020
Kabul: 11.08.2020
Basım: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.737433

Sorumlu yazar

Vesile Hatun Akansel
Eposta:
vesileakansel@gmail.com

An Evaluation of the 2018 Seismic Hazard Map of Turkey on the Basis of Spectrum Intensity

Vesile Hatun Akansel¹, Berat Feyza Soysal², Koray Kadas² and Hakkı Polat Gulkan³

¹ Mugla Sıtkı Kocman University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Mugla, Turkey

² Middle East Technical University, Faculty of Engineering Department of Civil Engineering, Ankara, Turkey

³ Baskent University, Faculty of Engineering Department of Civil Engineering, Ankara, Turkey
ORCID: 0000-0002-5445-2606, 0000-0002-4911-3757, 0000-0003-3379-193X, 0000-0001-7542-7082

ABSTRACT

2018 Turkish Building Earthquake Regulation relies on an updated seismic hazard map. This study examines the difference between new seismic hazard map and its predecessor using Acceleration Spectrum Intensity (ASI) as a metric. This metric is based on the comparison of the area under acceleration spectrum calculated for characteristic building period for different soil types. For this purpose, the 475-year earthquake values are used for regularly-spaced grid points covering Turkey. The elastic spectra are formed according to 2007 and 2018 regulations for each point and ASI are calculated. Contours displaying the ratio of current and earlier spectral intensity show how hazard has changed countrywide. It is possible to quantify the economic implications of the updated map and its safety dimension.

Keywords

Seismic hazard map, Acceleration Spectrum Intensity, Turkish earthquake codes, Economic implication of code requirements

Highlights

- * To quantify the economic implications and safety dimension of the 2018 Seismic Hazard Map of Turkey
- * The comparison of spectra calculated according to the 2018 Turkish Building Earthquake Code and the 2007 Specification for Structures to be Built in Disaster Areas
- * Contour maps for Acceleration Spectrum Intensity ratios

Manuscript

Research Article

Received: 14.05.2020
Revised: 26.07.2020
Accepted: 11.08.2020
Printed: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.737433

Corresponding Author

Vesile Hatun Akansel
Email:
vesileakansel@gmail.com

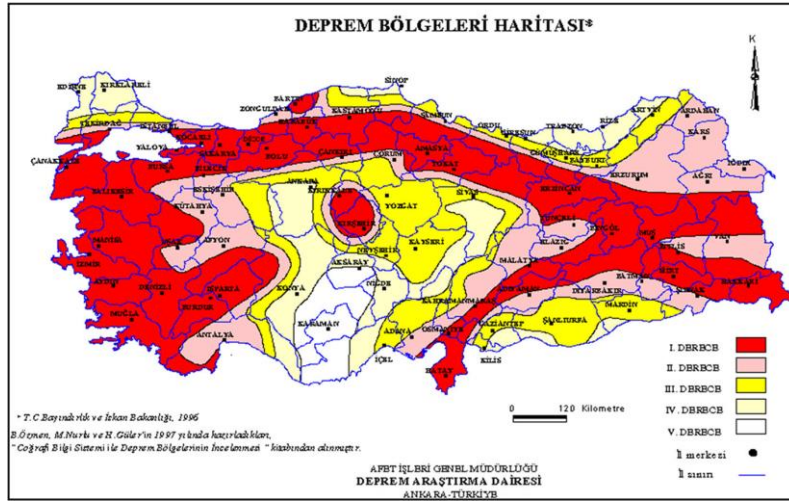
1. GİRİŞ VE MAKALENİN TEMEL DAYANAĞI

Türkiye'deki deprem tehlikesini belirleme çalışmaları 26 Aralık 1939 Erzincan Depremi sonrası 1940'lı yıllara dayanmaktadır (Gülkan ve diğ. 1993, Gulkan 2000). Deprem bölgeleri için ilk haritalar, jeologlar tarafından hazırlanmış olup deprem katalogları ve konumsal dağılımı bilinen fay hatları ile fay hattı olduğu düşünülen jeolojik formasyonların neden olacağı makrosismik büyüklüklerle bağdaşık deprem kaynaklı bina hasarı verilerine dayalı tehlike dağılımını göstermektedir. 1970'lerin ortalarından sonra, tehlike bölgelerinin tanımlanması, gerçekleşme ihtimalinden bağımsız olarak, gözlemlenen maksimum şiddete dayanmaktaydı. Depreme dayanıklı tasarım yönetmeliği de, deprem tehlike bölgeleri kavramı ile birlikte görev yaptı. 1993 yılında Gülkan ve diğ. (1993) tehlike bölgeleri arasında ayırım yapmak için aktif fay tektoniği ve istatistiki esaslara göre hesaplanan ve en büyük yer ivmesi (PGA) değerlerini temel alan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasını deprem tehlike değerlendirmesi bağlamında değiştirmiştir. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü ile ODTÜ Rektörlüğü arasında imzalanan protokol sonucu gerçekleştirilen çalışma ile ortaya çıkan harita, 1996 yılında Bakanlar Kurulu kararıyla yürürlüğe girmiştir. 1996 haritası 1998 yılında yürürlüğe giren deprem yönetmeliği (ABYYHY 1998) ile deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007), 1996 deprem bölgeleri haritasını kullanmakta ve deprem yüklerinin hesaplanması bakımından 1998 yönetmeliği (ABYYHY 1998) ile aynı prensipleri taşımaktadır. 2013 yılında, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı-2023 çerçevesinde bir çalışma başlattı. AFAD tarafından Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) kapsamında desteklenen UDAP-Ç-13-06 kod no'lu "Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi" başlıklı proje sonuçları neticesinde, binalar için depreme dayanıklı tasarım yönetmeliğine temel teşkil edecek yenilenmiş bir ulusal deprem tehlike haritası oluşturulmuştur (Akkar ve diğ. 2014, Akkar ve diğ. 2017, AFAD 2018, Akkar ve diğ. 2018). Deprem tehlike haritaları geniş manada ülkelerin kendilerini deprem riskinden korumak için aldıkları yapısal tedbirlerin ölçüsüdür. Yeni deprem tehlike haritası 2018 yılında Resmi Gazete'de yayınlanmış ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ile 2019 yılında yürürlüğe girmiş olup yatay ve düşey deprem taleplerinin hesaplanmasında deprem bölgeleri kavramını terk etmiş, bunun yerine kısa ve uzun periyot spektral ivme değerlerini ve çeşitli büyütme katsayılarını kullanmaktadır. Yeni hükümler esas itibarıyla ASCE7-16 (ASCE 2016) maddelerinin tekrarıdır.

Türkiye'nin deprem tehlike ve deprem bölgeleri haritalarının gelişiminin tarihsel geçmişi Gülkan ve diğ. (1993), Gulkan (2000) ve Pampal ve Özmen (2007) tarafından detaylıca verilmiştir. Bahsi geçen çalışmalar bu haritaların zaman içinde nasıl geliştiğini öğrenmek için yararlı olsa da, bu çalışma 1996 ve 2019'da yürürlüğe giren son iki haritaya odaklanacaktır. Çünkü bu haritaların deprem tehlikesinin doğru birer ölçütü olduğu varsayımıyla, şu anda daha güvenli ya da daha az güvenli bir ulusal coğrafyada mı yaşadığımız sorusunun cevabını aramaktayız.

Jeolojik zaman ölçeğinde, dünyanın herhangi bir yerindeki deprem tehlikesi değişmez, çünkü yer kabuğundaki hapsedilmiş sismik enerjinin salım oranı sabittir. Buna karşılık, depremleri üreten doğal süreçlere dair anlayışımız ile tasarımda kullanılmak üzere depremlerin nicelleştirilmesine dair bilimsel bilgi değişmektedir. İnsan ürünü çevrenin oluşturulmasına yönelik faaliyetlerinde mühendisler, doğal afetlerin insan yapımı sistemler üzerindeki etkilerini tasarım sırasında dikkate almak zorundadırlar. Deprem etkilerinin tasarım açısından dikkate alınma şekli ulusal yönetmelikler, standartlar veya mevzuatta açıklanmaktadır. Tasarım dokümanları mühendislik pratiği, ulusal tercihler ve geleneklere bağlıdır (Housner ve Jennings 1982). Depremlerin nadir ve zayıf şiddette meydana geldiği yerlerde, deprem etkileri bina yapısal güvenliği için tasarımın temelini oluşturmayacaktır. Bunun tersi gerçekse, örneğin Türkiye'de olduğu gibi, kamu güvenliğini sağlamaktan sorumlu olanlar, bina ve yapıların ekonomik sınırlar dâhilinde deprem etkilerine dayanacak şekilde tasarlandığından emin olmalıdırlar. Yönetmeliklerin kalibrasyonu neticede "ben bu toplumu deprem riskinden korumak için ne kadar maliyeti karşılamayı göze alıyorum?" sorusunun cevabıdır.

Bina tasarımında görev alan mühendislere rehberlik eden ve uyulması zorunlu olan 2007 deprem yönetmeliğinin (DBYBHY 2007) atıfta bulunduğu Şekil 1(a)'daki harita, 1'den 5'e kadar numaralandırılmış olan deprem bölgelerini tanımlamıştır. Kırmızı ile gösterilen 1'inci derece deprem bölgesi, 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip depreme denk gelen etkin yer ivmesi katsayısının 1997 UBC (1997) ile aynı şekilde 0.4 değerine sabitlendiği yüksek tehlike bölgeleridir. 2-4'üncü derece deprem bölgeleri için etkin yer ivmesi katsayıları sırasıyla 0.3, 0.2 ve 0.1'dir. 5'inci derece deprem bölgesi ise, rüzgâr yükü tasarımının deprem tasarımı için de yeterli olacağı umularak resmi olarak "sismik olmayan (deprenselliği bulunmayan) bölge" olarak tanımlanmıştır ve 1998 Deprem Yönetmeliği'nde (ABYYHY 1998) belirtilen tanımlamalar ile birebir aynıdır. Şekil 1(b)'de gösterilen harita ile bu felsefe terk edilmiştir. Renkli konturlar, 475 yıl tekerrür periyodu için en büyük yer ivmesi (PGA) değerlerini göstermektedir. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından (TDTH 2018) elde edilen spektral ivme değerleri kullanılarak, tasarım spektrumu ASCE7-16 (ASCE 2016) belgesindekiyle aynı şekilde tanımlanmaktadır. Şekil 1(a) ve 1(b)'nin doğrudan karşılaştırılması, farklı titreşim periyoduna sahip çeşitli binaların tasarımı üzerindeki etkileri ölçüldüğünde mümkün olacaktır. PGA değerleri bu karşılaştırmanın dayanak noktası olamaz.



(a)



(b)

Şekil 1: Deprem tehlike haritaları; (a) 1996 deprem bölgeleri haritası (Özmen ve diğ. 1997), (b) 2018 deprem tehlike haritası (AFAD 2018)

Bu çalışmada, ülkenin şu anda sismik olarak daha az mı yoksa daha fazla mı tehlikeli olduğu konusuna bir açıklama getirmekteyiz. Bu soru salt retorik bir sorudan fazlasıdır, zira deprem tasarım yönetmelikleri ekonomik ve sosyal değerlendirmeleri örtülü şekilde ihtiva etmektedirler. Ekonomik boyut yönetmeliklerce tariflenmiş etkilere karşı koyacak tasarım ve gerekli detaylandırmalara temel teşkil eden taban kesme kuvveti, izin verilen deformasyon limitleri gibi parametreleri tanımlayan yönetmelik hükümlerinde dâhil edilmiştir. Sosyal boyut ise, yapısal performans ölçütlerine göre kabul edilen risk tanımı ile dâhil edilmektedir. Tehlikenin anlamlı bir şekilde nasıl değiştiğinin karşılaştırılmasına temel olması amacıyla, farklı zemin sınıfları için taban kesme eğrisi altında kalan alanı kullanmakta ve bu alanı “spektral şiddet” olarak tanımlamaktayız. Spektral şiddet değerleri, taban kesme kuvveti için tanımlanmış mevcut ve önceki yönetmelik hükümlerine dayanılarak ve ayrıca mevcut ve eski tehlike haritalarınca sağlanan coğrafi koordinatlar kullanılarak hesaplanmıştır. Mekânsal dağılımı göstermek için, eski ve yeni yönetmeliklerde tariflenen spektral şiddetlerin oranı aşağıda gösterilen kontur haritalarının oluşturulmasında kullanılmıştır. Bu şekilde, güncellenen haritanın bina maliyeti üzerindeki potansiyel etkilerini görsel olarak ölçmek mümkün hale gelmiştir.

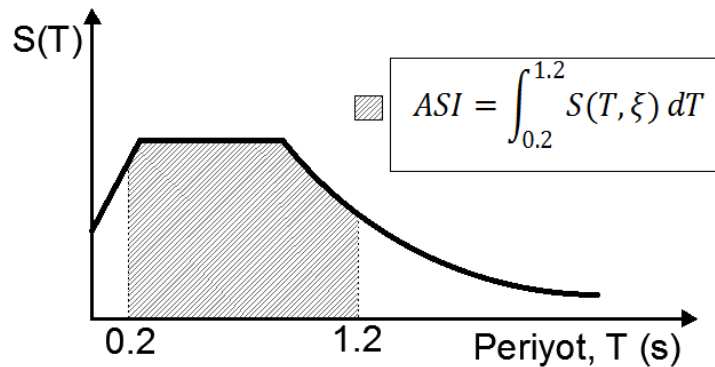
2. SPEKTRUM ŞİDDETİ

Herhangi bir tasarım aracının bina stokunda ürettiği toplam talep, taşıdığı ham, düzeltilmemiş, yanal kuvvet ölçüsü olarak ifade edilebilir. Bu ölçütler daha sonra yerel zemin özellikleri, periyoda (ve yer hareketi düzeyine) bağlı büyütme katsayılarını, elastik olmayan yapısal özellikleri dikkate alan davranış tadil katsayılarını ve söz konusu bina için önem katsayısını yansıtan bir dizi parametre ile ölçeklendirilir. Bu çalışmanın amaçları doğrultusunda diğer parametreler sabit tutularak, farklı zemin sınıfları için tanımlanan elastik spektral ivme eğrilerinin altındaki alana odaklanılacaktır. Böylece tek bir periyot yerine bir dizi farklı periyoda sahip yapılar dikkate alınmaktadır ve yapı stokunun nasıl etkilendiği ortaya çıkarılacaktır.

Özetle, 1996 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre belirlenen deprem bölgeleri için spektral ivmelerin 2007 yönetmeliğinde kabul edilen değerleri ham taban kesme kuvveti katsayısına Denklem 1'deki gibi dönüştürülmektedir (Bkz. Şekil 2):

Ham taban kesme kuvveti;

$$V_{t,ham} / W = A(T) \quad (1)$$



Şekil 2: Spektral katsayı $S(T)$ ve bu çalışmadaki İvme Spektrum Şiddeti (ASI) değerlerinin hesaplaması

Şekil 2’de normalize edilmiş olarak gösterilen spektral katsayı $S(T)$, deprem bölgesine bağlı etkin yer ivmesi A_0 ’ın çarpanıdır. Bu parametrelerin çarpımı, ham taban kesme kuvveti katsayısı $V_{t,ham}$ için bina ağırlığını (W) çarpan spektral ivme $A(T)$ ’yi vermektedir (Denklem 2). Burada, 1998 Yönetmeliğinin tasarım spektrumunun T_B köşe periyodundan sonraki azalan kısmının spektrum tanımına aykırı olduğuna dikkat çekmek isteriz, zira fonksiyondaki kuvvet değeri -0.8 yerine -1 olmalıdır. Bu tercihin 1998–2019 arasında Türkiye’deki deprem güvenliğine ne kazandırdığı veya kaybettiği kimse tarafından hesaplanmış değildir.

$$A(T) = A_0 S(T) \quad (2)$$

Spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B yerel zemin sınıfına bağlı olup DBYBHY (2007)’ye uygun olarak Tablo 1’de verilmiştir. Tablodaki T_A ve T_B değerlerinin 2004 yılı itibariyle ülkemizde kaydedilmiş yer hareketi kayıtlarının ışığında ne olması gerektiği Kalkan ve Gulkan (2004) tarafından hesaplanmıştır. Kalkan ve Gulkan (2004) hem 1998 hem de aynen devam ettirildikleri 2007 Türkiye deprem yönetmeliklerinde yer alan T_A ve T_B değerlerinin Türkiye’de o tarihe kadar alınmış yer hareketi kayıtlarına göre tertiplenmiş hesap spektrumlarının desteklenmediğini göstermektedir.

Tablo 1: Spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (sn)	T_B (sn)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne (TBDY 2018) göre yatay elastik ivme spektrumu 2018 Türkiye Deprem Tehlike Haritası’ndan alınan harita spektral ivme katsayıları ve yerel zemin etki katsayılarına göre oluşturulur. Kısa periyot ve 1 saniye periyot için sırasıyla S_S ve S_1 olarak tanımlanan harita spektral ivme katsayıları, tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} ’e yerel zemin etki katsayıları F_S ve F_1 ile dönüştürülür (Denklem 3). Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B ise 2007 yönetmeliğinden farklı olarak Denklem 4’teki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} S_{DS} &= S_S F_S \\ S_{D1} &= S_1 F_1 \end{aligned} \quad (3)$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}, \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (4)$$

Bu çalışma kapsamında öncelikli olarak ele alınan deprem şiddetini belirleyen parametre, kavramsal olarak Housner (1959) tarafından önerilen spektrum şiddetine (Housner Intensity, HI) benzeyen “İvme Spektrum Şiddeti”dir (Acceleration Spectrum Intensity, ASI). Housner (1959) tarafından önerilen spektrum şiddeti HI, genellikle 0.5 sn’den daha düşük titreşim periyoduna sahip olan beton barajların analizi için kullanılacak kuvvetli yer hareketlerini karakterize etmek için tanımlanmıştır. Von Thun ve diğ. (1988) tarafından önerilen ASI parametresi ise 0.1-0.5 sn periyotları arasında kalan, ivme tepki spektrumu altındaki alan olarak hesaplanmaktadır. Yakut ve Yılmaz (2008), çalışmalarında ASI’nın sadece kısa periyotlu binalar için etkili olduğunu göstermiş ve bu spektrum şiddetinin kısa ve kısmen yüksek periyot aralığında yer alan bina yapılarının davranışıyla daha iyi ilişkili olduğunu düşündükleri değiştirilmiş bir şeklini (ASI*) önermişlerdir. Bu bağlamda, ASI* hesaplamasında 0.1-2.5 sn periyot aralığının dikkate alınmasını tavsiye etmişlerdir. Yukarıda ifade edilen iki ASI

varyasyonuna ait haritalar Akansel ve diğ. (2019)'da çalışılmıştır. Bu çalışmanın yazarları, Türkiye'de bulunan bina stoğunun yapısal dinamik genel karakteristikleri doğrultusunda, Housner (1959)'in spektrum şiddeti tanımına paralellik gösterecek bir üçüncü ASI varyasyonu tanımlamış ve bu parametrenin hesabında 0.2-1.2 sn periyot aralığını dikkate almışlardır (Denklem 5). Deprem tehlike haritasındaki değişikliklerin etkisini araştırmak için 0.2-1.2 sn periyot aralığını dikkate alan ASI tanımlamasını ve ayrıca PGA değerlerini dikkate almışlardır. Spektrumlar ilgili yönetmelikler dikkate alınarak hesaplanmıştır. ASI, hesaplamaları Denklem 5 ve Şekil 2'de görselleştirilmiş olup hesaplamalarda kullanılan spektrumlar 1996 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası ve 2018 Deprem Tehlike Harita verileri ile halen yürürlükte olan 2018 ile 2007 deprem yönetmeliği dikkate alınarak elde edilmiştir.

$$ASI = \int_{0.2}^{1.2} S_A(T, \xi) dT \quad (5)$$

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'e (DBYBHY 2007) göre tasarım spektrumlarının oluşturulmasında, yapının konumunun bulunduğu deprem bölgesinin etkin yer ivmesi katsayısı A_0 ve zemin sınıfı bilgisi gereklidir. Yerleşim birimlerinin 1996 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre kaçınıcı derece deprem bölgesinde bulunduğu Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (18.04.1996) İndeks: Yerleşim Birimleri ve Deprem Bölgeleri kitapçığında il bazında verilmektedir (TDBH-İndeks 1996). Bu çalışmada, 1996 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na temel teşkil eden 35° - 42.8° enlemleri ile 25° - 45° boylamları arasında değişen ve yaklaşık 4000 eş aralıklı noktada 475 yıllık tekerrür periyoduna karşılık gelen deprem için verilmiş olan PGA değerleri dikkate alınmıştır (<https://dmc.metu.edu.tr/node/69>). Bu çalışmada 2007 yönetmeliğinin atıfta bulunduğu haritadaki deprem bölgeleri kavramı ile tutarlılık sağlaması açısından 0.1g'den az olan değerler için haritadaki PGA değerleri, 0.1g-0.2g arasındaki değerler 0.1g, 0.2g-0.3g arasındaki değerler 0.2g, 0.3g-0.4g arasındaki değerler 0.3g ve 0.4g ve üstündeki değerlerde ise 0.4g değeri kullanılmıştır. Bu yaklaşım Gülkan ve diğ. (1993) çalışması dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Zemin sınıfları, yönetmelikte de tanımlandığı gibi 4 grup olarak tasnif edilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY 2018) göre tasarım spektrumlarının oluşturulması için ise; 2018 Deprem Tehlike Haritası'ndan (yine aynı tekrarlanma periyoduna karşılık gelen deprem yer hareketi düzeyi için verilmiş) PGA, S_s (kısa periyot (0.2 sn) için spektral ivme) ve S_1 (1.0 sn periyot için spektral ivme) değerleri herhangi bir sınırlama olmaksızın dikkate alınmıştır. 2018 Deprem Tehlike Haritasına göre bir yerin deprem yer hareketi parametre değerlerine koordinat bazında Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması (TDTH 2018) ile ulaşılmaktadır. Bu çalışmada, TBDY 2018'e göre 34.25° - 42.95° enlemleri ile 24.55° - 45.95° boylamları arasında değişen ve yaklaşık 14000 noktada 5 farklı zemin sınıfı için spektrumlar oluşturulmuştur. Her iki yönetmelik için de zemin sınıflandırmalarını tanımlayan ortak özelliklerin incelenmesi ile Tablo 2'de yer alan zemin sınıfı eşleştirmelerine karar verilmiştir.

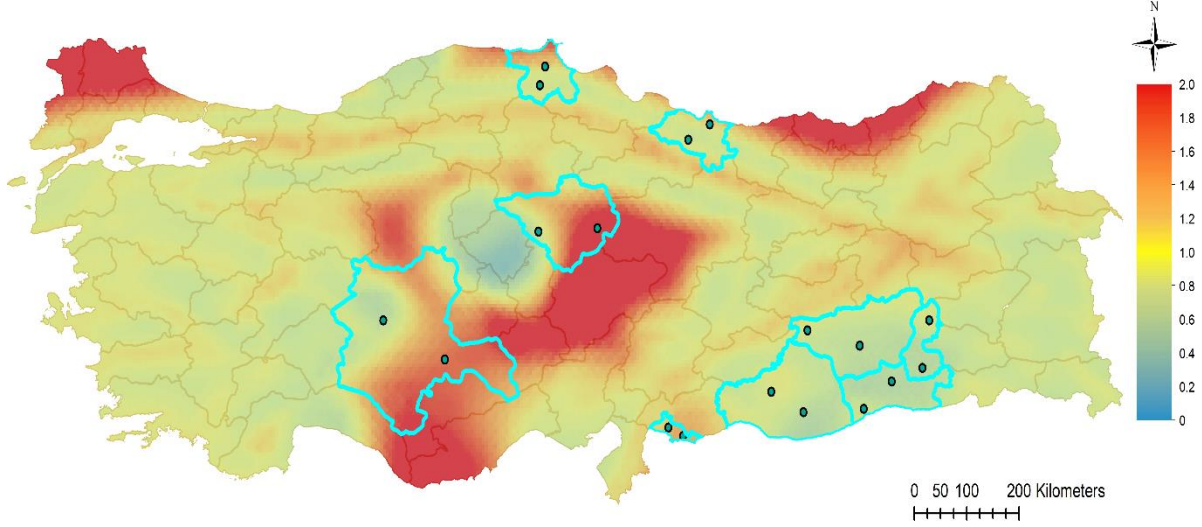
Tablo 2: Zemin sınıflarının eşleştirmesi

DBYBHY 2007	Z1	Z2	Z3	Z4
TBDY 2018	ZA, ZB	ZC	ZD	ZE

3. SPEKTRUM ŞİDDET ORANLARI VE İLGİLİ İRDELEME

1996 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası ve 2018 Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nı karşılaştırmak için, yeni harita tabanlı şiddet ölçüsünün eski harita tabanlı değere oranı, 0.05x0.05 ondalık derecelik bir coğrafi çözünürlükte, Ters Uzaklık Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW) yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. PGA ve ASI şiddet parametreleri, 1996 haritasında verilen 4000 data noktası ve 2018 Türkiye Deprem Tehlike Haritası için verilen 14000 data

noktası için hesaplanmıştır ve her iki harita içinde Raster harita 0.05x0.05 ondalık derecelik bir coğrafi çözünürlükte oluşturulmuştur ve oranlama bu iki raster harita üzerinden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu haritadan seçilen rastgele noktalar için enterpolasyon hesaplamaları ve TDTH (2018) verileri kontrol edilmiştir ve en büyük fark %3.4 mertebesinde (Şekil 3 ve Tablo 3).



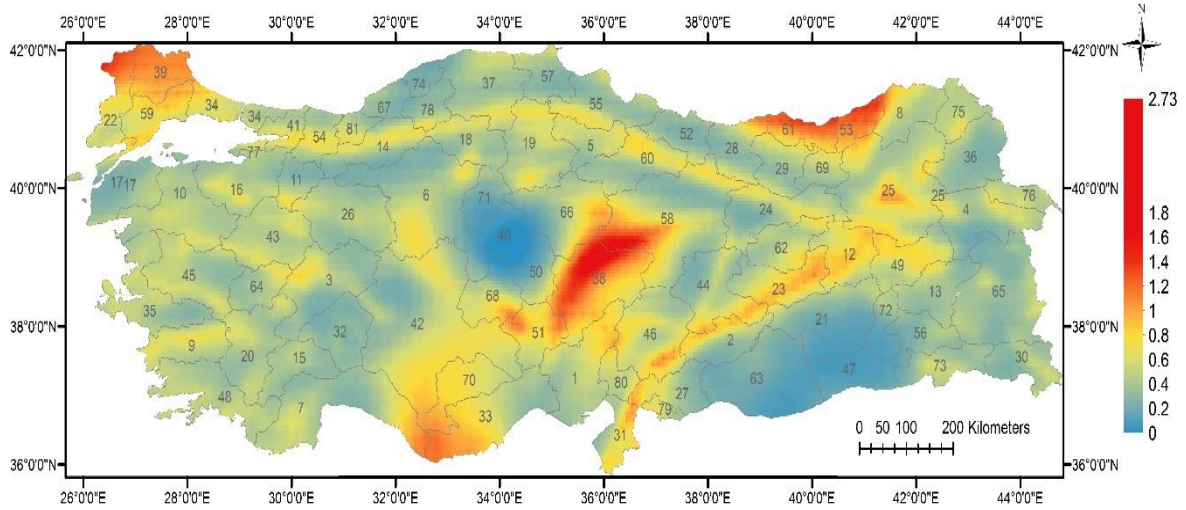
Şekil 3: Hesaplama kontrolleri için seçilen rastgele noktaların konumu

Tablo 3: Rastgele seçilen noktalar ve ZE zemin sınıfı için yapılan hata hesabı

Konum No	Enlem	Boylam	S_s	S_1	TBDY (2018)	ARCGIS	Hata (%) Cinsinden
					ASI 475 yıl - ZE	Enterpolasyon ASI 475 yıl - ZE	
1	41.713	34.898	0.374	0.152	0.689	0.684	0.70
2	41.461	34.806	0.565	0.206	0.813	0.840	3.42
3	40.932	37.724	0.374	0.156	0.693	0.686	1.03
4	40.725	37.356	0.661	0.232	0.867	0.852	1.73
5	39.485	34.783	0.207	0.098	0.465	0.468	0.63
6	39.531	35.794	0.340	0.126	0.634	0.634	0.07
7	38.291	32.119	0.440	0.100	0.614	0.605	1.47
8	37.762	33.175	0.236	0.057	0.376	0.374	0.58
9	36.843	37.012	0.644	0.182	0.812	0.818	0.76
10	36.729	37.264	0.352	0.129	0.646	0.639	1.12
11	37.326	38.780	0.297	0.110	0.580	0.582	0.28
12	37.050	39.332	0.194	0.084	0.422	0.418	1.00
13	38.153	39.400	0.838	0.229	0.905	0.896	0.94
14	37.946	40.296	0.315	0.131	0.626	0.622	0.64
15	37.647	41.376	0.272	0.108	0.558	0.555	0.59
16	38.291	41.491	0.923	0.224	0.919	0.911	0.91
17	37.464	40.848	0.206	0.093	0.455	0.459	0.99
18	37.096	40.365	0.170	0.075	0.372	0.373	0.27

Enterpolasyon için dikkate alınan noktalar deniz sınırlarını da içine almaktadır ve böylelikle karasal sınırlar içinde hesaplanan değerlerin doğruluğunu arttırmaktadır. Sayısal hesaplamalar, ArcGIS Desktop (ESRI 2011) yazılımında oluşturulan renk haritaları ile görselleştirilmiştir. Akansel ve diğ. (2019)'da haritalarda belirtilen maksimum değerler deniz sınırını da dikkate alır iken bu çalışmada kara sınırları içinde gözlemlenen maksimum ve minimum değerler haritalarda işlenmiştir.

Şekil 4, yukarıda bahsedilen iki haritanın PGA oranlarının dağılımını göstermektedir. Şekil 1 ve Şekil 4 birlikte incelendiğinde, 1'inci derece deprem bölgelerinde ve depremselliğin olmadığı kabulü yapılan 5'inci derece deprem bölgelerinde önemli değişikliklerin meydana geldiği gözlemlenebilir. Şekil 3-8'de belirtilen, PGA(2018)/PGA(2007) ve ASI(2018,ZA)/ASI(2007,Z1) gibi kısaltmalar; TBDY (2018)'e göre hesaplanan PGA ve farklı zemin grupları için hesaplanan ASI oranlarının DBYBHY (2007)'ye göre hesaplanan değerlerine oranını ifade etmektedir. Haritasal olarak sunulan sonuçları ayrıntılı olarak inceleyebilmek için Türkiye'de bulunan her il için PGA ve ASI minimum, maksimum ve ortalama oranları il sınırları dikkate alınarak hesaplanmış ve bu değerlerin bulunduğu tablolar aşağıda verilmiştir. Şekil 4-9'da verilen haritalarda takibin kolaylığı ve verilen sonuçların görünürlüğünü etkilemeyecek şekilde il sınırları il trafik plakaları ile birlikte verilmiştir. İl plakaları Tablo 4'te her il için verilmiştir. Şekil 4'e göre Kuzeydoğu (örneğin Trabzon, Rize), orta güney (örneğin Niğde, Kayseri, Karaman, Konya ve Mersin) ve Türkiye'nin en kuzeybatı kısmı (örneğin Kırklareli, Edirne) PGA değerlerinde artışa en fazla maruz kalan bölgelerdir. Fay hatlarına yakın bölgelerde PGA değerlerinde artış eğilimi gözlemlenirken, diğer bölgelerde PGA değerlerinde düşüş gözlemlenmektedir. Türkiye'nin kara coğrafi sınırları göz önüne alındığında, gözlemlenen minimum ve maksimum PGA oranlarının sırasıyla 0.18 ve 2.73 olduğunu belirtmek gerekir. Akkar ve diğ. (2018)'de de belirtildiği gibi ölçü sadece PGA oranı olduğunda yeni deprem tehlike haritası bir öncekine göre özellikle fay hatlarına yakın bölgelerde daha fazla "tehlke" tahmininde bulunmaktadır.

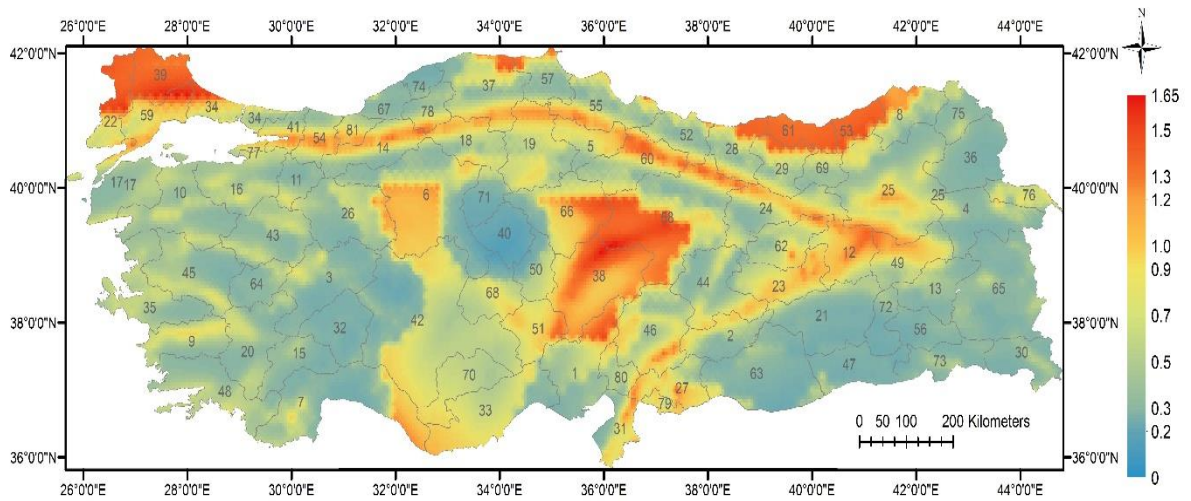


Şekil 4: En büyük yer ivmesi oranı; PGA(2018)/PGA (2007); min=0.18 - maks=2.73

Tablo 4'te 2018'de Resmi Gazete'de ilan edilen ve 2019'da Deprem Yönetmeliği ile yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritası ile 1996 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na temel teşkil eden değerlerin bir önceki bölümde de belirtildiği gibi 2007 Deprem Yönetmeliği'nde dikkate alındığı şekli ile hesaplanan A_0 değerleri dikkate alınarak yapılan oranlamadan elde edilen minimum, maksimum ve ortalama PGA oranları her il için verilmiştir. Tekrar belirtmek

gerekir ki hesaplanan bu istatistiksel değerler her ilin coğrafi sınırları dikkate alınarak elde edilmiştir. En büyük maksimum PGA oranı, 2.7 ile Kayseri, 2.6 ile Sivas'ta ve 2.05 ile Edirne'de görülmektedir. En küçük maksimum PGA oranları ise 0.47, 0.54 ve 0.63 değerleri ile sırasıyla Kırşehir, Mardin ve Bartın'da görülmektedir. Maksimum değerler incelendiğinde birçok ilde PGA oranları 1.0 değerini aşmıştır. Tablo 4'te il sınırları içindeki ortalama PGA oranlarına bakıldığında Bingöl, Edirne, Elazığ, Hatay, Mersin, Karaman, Kayseri, Kırklareli, Muş, Niğde, Rize, Sivas, Tekirdağ ve Trabzon dışında kalan illerde oran 1.0'in altındadır. En büyük ortalama PGA oranları Rize, Kayseri ve Kırklareli ile Trabzon olmak suretiyle sırasıyla 1.68, 1.60 ve 1.55'tir. Ortalama PGA oranlarının en düşük olduğu iller, sırasıyla 0.27, 0.38 ve 0.45 değerleriyle Kırşehir, Mardin ve Şanlıurfa'dır. Minimum PGA oranları için Tablo 4 incelendiğinde, 1.23, 1.21 ve 1.04 değerleri ile 1.0 değerinin üstünde olan en yüksek oranlara sahip olan iller sırasıyla, Kırklareli, Rize ve Trabzon'dur. En düşük minimum PGA oranları ise 0.18, 0.21 ve 0.24 değerleri ile Kırşehir, Aksaray ve Ankara'dadır. En yüksek minimum PGA oranları ise 1.23, 1.21 ve 1.04 değerleri ile sırasıyla Kırklareli, Rize ve Trabzon'dadır. İl sınırları içindeki minimum, maksimum ve ortalama değerler incelendiğinde, minimum ile maksimum PGA oranları arasındaki saçıllımın büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum özellikle il sınırları içinde birden fazla farklı deprem bölgesi mevcut ise gözlemlenmiştir. İl bazında 1996 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre il sınırlarının içinde bulunan farklı deprem bölgelerine ait alansal yüzdeler Özmen ve diğ. (1997) çalışmasından edinilebilir. Örneğin, Tablo 4'te Aksaray için minimum PGA oranı 0.21 iken maksimum PGA oranı 1.69 ve ortalama değer 0.88'dir. Buna benzer saçıllımlar, farklı deprem bölgelerinin aynı il sınırları içinde bulunduğu Diyarbakır, Kayseri, Edirne, Sivas ve Yozgat'ta da görülmektedir. Akkar ve diğ. (2018)'de de belirtildiği gibi PGA oranlarında fay hatlarına yakın bölgelerde yüzde 50'lik bir tehlike tahmini artışı söz konusudur. Özmen (2018) çalışmasında da yer bilimlileri açısından yeni deprem tehlike haritasını incelemiştir. Bozer (2020), tasarım spektral ivme katsayılarını DBYBHY (2007) ve TBDY (2018)'e göre il merkezinde seçilen noktalar için incelemiştir.

Şekil 5'te ZA ile Z1 zemin sınıfları için ASI oranları kontur haritası olarak verilmiştir. ASI'nın 1.0 değerinden küçük olduğu bölgeler göz ardı edilemeyecek kadar geniştir. Azalma minimum değeri yaklaşık olarak 0.16 seviyesinde ve artış oranı maksimum değeri ise 1.65 kat seviyelerindedir. Fay hatlarına yakın olan bölgelerde, Trabzon, Rize, Kırklareli ve Edirne'de yapı maliyetlerinde artış gözlemlenebilir. Kırşehir, Kırıkkale, Mardin, Isparta, Batman ve Bartın ise ortalama ASI değerlerine göre en fazla azalmanın görüldüğü yerlerdir ve yapı maliyetlerinde azalma gözlemlenebilir.



$$\text{ASI}(2018, \text{ZA}) / \text{ASI}(2007, \text{Z1}); \text{min}=0.16 - \text{maks}=1.65$$

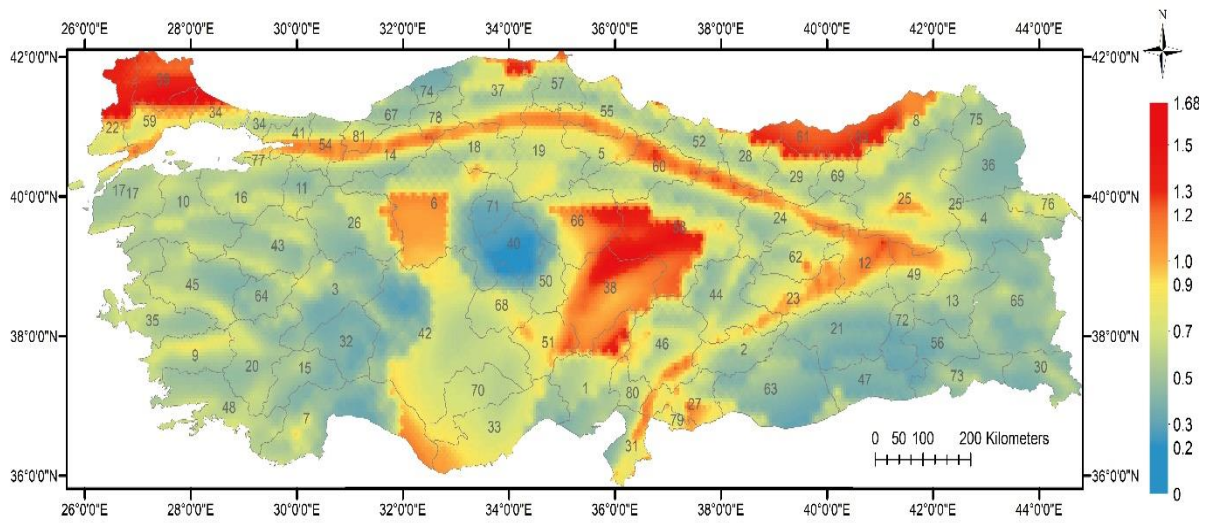
Şekil 5: ZA ile Z1 için İvme Spektrum Şiddeti oranları

Tablo 4: İl bazında PGA oranları için minimum, maksimum, ortalama oranları

Plaka No	İl	PGA Oranı			Plaka No	İl	PGA Oranı		
		Min	Maks	Ort			Min	Maks	Ort
1	Adana	0.61	1.44	0.93	78	Karabük	0.50	1.17	0.71
2	Adıyaman	0.49	1.45	0.87	70	Karaman	0.82	1.62	1.20
3	Afyonkarahisar	0.51	1.30	0.74	36	Kars	0.53	1.26	0.67
4	Ağrı	0.45	1.22	0.75	37	Kastamonu	0.46	1.14	0.77
68	Aksaray	0.21	1.69	0.88	38	Kayseri	0.76	2.73	1.60
5	Amasya	0.60	1.15	0.89	71	Kırıkkale	0.33	0.80	0.50
6	Ankara	0.24	1.22	0.74	39	Kırklareli	1.23	1.81	1.55
7	Antalya	0.53	1.71	0.86	40	Kırşehir	0.18	0.47	0.27
75	Ardahan	0.74	1.19	0.86	79	Kilis	0.69	1.23	0.95
8	Artvin	0.70	1.86	0.95	41	Kocaeli	0.69	1.29	0.94
9	Aydın	0.66	1.25	0.93	42	Konya	0.48	1.46	0.91
10	Balıkkesir	0.64	1.10	0.81	43	Kütahya	0.69	1.09	0.87
74	Bartın	0.45	0.63	0.51	44	Malatya	0.49	1.57	0.86
72	Batman	0.35	0.85	0.51	45	Manisa	0.58	1.12	0.82
69	Bayburt	0.60	1.21	0.82	47	Mardin	0.32	0.54	0.38
11	Bilecik	0.53	1.24	0.72	33	Mersin	0.57	1.74	1.08
12	Bingöl	0.75	1.42	1.15	48	Muğla	0.64	1.03	0.81
13	Bitlis	0.52	1.27	0.73	49	Muş	0.61	1.36	1.01
14	Bolu	0.48	1.24	0.81	50	Nevşehir	0.27	1.44	0.61
15	Burdur	0.59	0.86	0.72	51	Niğde	0.77	1.78	1.23
16	Bursa	0.58	1.21	0.80	52	Ordu	0.50	1.10	0.65
17	Çanakkale	0.50	1.41	0.69	80	Osmaniye	0.77	1.37	0.97
18	Çankırı	0.56	1.18	0.82	53	Rize	1.21	2.02	1.68
19	Çorum	0.66	1.21	0.89	54	Sakarya	0.58	1.22	0.89
20	Denizli	0.62	1.05	0.79	55	Samsun	0.52	1.23	0.80
21	Diyarbakır	0.33	1.27	0.55	56	Siirt	0.43	0.83	0.62
81	Düzce	0.61	1.13	0.88	57	Sinop	0.50	1.16	0.69
22	Edirne	0.83	2.05	1.30	58	Sivas	0.52	2.60	1.02
23	Elazığ	0.61	1.60	1.13	63	Şanlıurfa	0.32	0.75	0.45
24	Erzincan	0.49	1.18	0.79	73	Şırnak	0.41	1.02	0.72
25	Erzurum	0.60	1.55	0.97	59	Tekirdağ	0.86	1.53	1.19
26	Eskişehir	0.52	1.22	0.76	60	Tokat	0.56	1.31	0.86
27	Gaziantep	0.50	1.54	0.83	61	Trabzon	1.04	1.99	1.55
28	Giresun	0.50	1.76	0.82	62	Tunceli	0.64	1.34	0.89
29	Gümüşhane	0.58	1.37	0.82	64	Uşak	0.60	1.21	0.80
30	Hakkari	0.52	0.99	0.70	65	Van	0.45	1.01	0.67
31	Hatay	0.60	1.58	1.05	77	Yalova	0.66	1.10	0.91
76	İğdır	0.74	1.15	0.86	66	Yozgat	0.30	1.78	0.88
32	Isparta	0.51	0.78	0.60	67	Zonguldak	0.50	0.81	0.61
34	İstanbul	0.70	1.45	0.99					
35	İzmir	0.55	0.99	0.80					
46	Kahramanmaraş	0.63	1.68	1.00					

Tablo 5-9'da farklı zemin sınıfları için il bazında hesaplanan istatistiksel ASI değerleri verilmiştir. Böylelikle il bazında DBYBHY (2007)'nin atıfta bulunduğu 1996 tarihli harita ile TBDY (2018) yönetmeliğinin atıfta bulunduğu 2018 Deprem Tehlike Haritası arasındaki değişimin spektral şiddet tanımlaması aracılığı ile ekonomiye olan etkisi ilişkilendirilmiş olacaktır. Daha önce de belirtildiği üzere, 2007 deprem yönetmeliği 1998 deprem yönetmeliğinin (ABYYHY 1998) aynısı olmakla birlikte sadece Bölüm 7 eklenmiştir ve geri kalan içerik olarak aynıdır. Tablo 5-9'da kırmızı olarak işaretlenen hücreler 1.0 değerinden büyük ortalama ASI oranlarını göstermektedir. Tablo 5'te ZA(2018)/Z1(2007) zemin sınıfları için ASI oranlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. Tablo 5'te maksimum ASI oranlarının en yüksek olduğu iller, 1.65 değeri ile Kayseri, Sivas ve Tekirdağ'dır. En düşük maksimum ASI oranları ise 0.39, 0.54 ve 0.55 değerleri ile sırasıyla Kırşehir, Siirt ve Isparta'da görülmektedir. Ortalama ASI oranlarının en düşük olduğu iller 0.23 değeri ile Kırşehir, 0.40 değeri ile Bartın, Batman, Isparta ve Kırıkkale'dir. En yüksek ortalama ASI oranları ise 1.28, 1.25 ve 1.23 değerleri ile sırasıyla Kırklareli, Rize ve Trabzon'dadır. Ortalama ASI değerinin 1.0'ı geçtiği iller ise Edirne, Kayseri, Kırklareli, Rize ve Trabzon'dur. Ortalama ASI oranları bu iller dışında genel olarak 1.0 değerinin altındadır. En düşük minimum ASI oranları, 0.16 değeri ile Aksaray ve Kırşehir, 0.17 değeri ile Ankara'dadır. En yüksek minimum ASI oranları, 1.03, 0.98 ve 0.85 değerleri ile sırasıyla, Trabzon, Kırklareli ve Rize'dedir.

Şekil 6'da ZB ile Z1 zemin sınıfları için ASI oranları kontur haritası olarak verilmiştir. Spektral şiddet oranları ZA/Z1 ile benzer değişim göstermekle birlikte değerler ZA'ya göre çok az artış göstermektedir. ZA/Z1 ve ZB/Z1 zemin sınıfları dikkate alındığında haritada gözlenen en büyük ASI oran azalmaları, il sınırları içinde bulunan alanlar göz önüne alındığında, Şanlıurfa, Diyarbakır ve Mardin gibi eski haritada birden fazla deprem bölgesi sınırları içinde bulunan şehirler ile Kırşehir ve Kırıkkale gibi bir önceki deprem bölgeleri haritasında çoğunlukla 1. derece deprem bölgesi sınırları içinde bulunan illerde gerçekleşmiştir. En büyük artış oranları ise fay hatları civarında ve önceki haritaya göre çoğunlukla III'üncü, IV'üncü ve V'inci derece deprem bölgelerini sınırları içinde bulunduran Kayseri, Yozgat, Sivas ve Niğde civarlarında görülmektedir. Bu illerde yapı maliyetlerinin artacağı şüphesizdir. Maksimum 1.68 oranı ile artış ve minimum 0.16 oranı ile azalma gözlemlenmiştir.



ASI(2018,ZB)/ASI(2007,Z1)
min=0.16 – maks=1.68

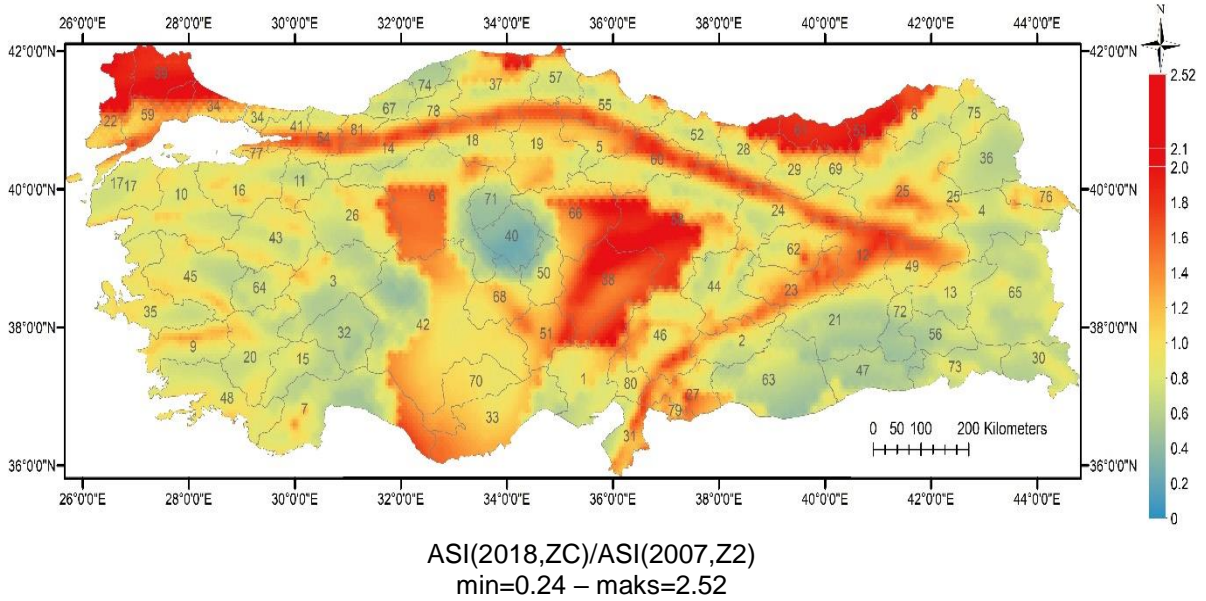
Şekil 6: ZB ile Z1 için İvme Spektrum Şiddeti oranları

Tablo 5: İl bazında ZA(2018)/Z1(2007) için minimum, maksimum, ortalama ASI oranları

Plaka No	İl	(ZA / Z1) Oranı			Plaka No	İl	(ZA / Z1) Oranı		
		Min	Maks	Ort			Min	Maks	Ort
1	Adana	0.38	1.46	0.72	78	Karabük	0.42	1.18	0.67
2	Adıyaman	0.40	0.99	0.63	70	Karaman	0.57	0.93	0.69
3	Afyonkarahisar	0.33	0.81	0.48	36	Kars	0.38	0.79	0.46
4	Ağrı	0.37	0.91	0.52	37	Kastamonu	0.34	1.33	0.73
68	Aksaray	0.16	0.98	0.63	38	Kayseri	0.72	1.65	1.11
5	Amasya	0.50	1.14	0.81	71	Kırıkkale	0.27	0.73	0.40
6	Ankara	0.17	1.12	0.72	39	Kırklareli	0.98	1.64	1.28
7	Antalya	0.32	1.13	0.60	40	Kırşehir	0.16	0.39	0.23
75	Ardahan	0.47	0.70	0.55	79	Kilis	0.66	1.06	0.85
8	Artvin	0.43	1.23	0.76	41	Kocaeli	0.51	1.14	0.79
9	Aydın	0.47	0.90	0.64	42	Konya	0.26	0.96	0.61
10	Balıkesir	0.46	0.75	0.58	43	Kütahya	0.43	0.73	0.57
74	Bartın	0.33	0.57	0.40	44	Malatya	0.42	1.03	0.63
72	Batman	0.30	0.60	0.40	45	Manisa	0.39	0.82	0.57
69	Bayburt	0.50	1.16	0.62	47	Mardin	0.30	0.66	0.40
11	Bilecik	0.41	0.79	0.54	33	Mersin	0.37	1.06	0.72
12	Bingöl	0.61	1.28	0.96	48	Muğla	0.46	0.77	0.57
13	Bitlis	0.40	0.85	0.53	49	Muş	0.48	1.20	0.80
14	Bolu	0.41	1.24	0.77	50	Nevşehir	0.22	0.91	0.55
15	Burdur	0.36	0.61	0.49	51	Niğde	0.59	1.23	0.88
16	Bursa	0.45	0.82	0.61	52	Ordu	0.45	1.12	0.63
17	Çanakkale	0.48	1.20	0.60	80	Osmaniye	0.52	1.00	0.69
18	Çankırı	0.49	1.16	0.76	53	Rize	0.85	1.41	1.25
19	Çorum	0.51	1.12	0.75	54	Sakarya	0.51	1.15	0.80
20	Denizli	0.42	0.78	0.55	55	Samsun	0.44	1.20	0.74
21	Diyarbakır	0.31	0.91	0.45	56	Siirt	0.31	0.54	0.41
81	Düzce	0.56	1.09	0.82	57	Sinop	0.47	1.29	0.67
22	Edirne	0.69	1.57	1.12	58	Sivas	0.44	1.65	0.97
23	Elazığ	0.45	1.13	0.83	63	Şanlıurfa	0.29	0.85	0.45
24	Erzincan	0.45	1.16	0.73	73	Şırnak	0.29	0.62	0.47
25	Erzurum	0.44	1.21	0.70	59	Tekirdağ	0.64	1.65	1.00
26	Eskişehir	0.39	1.13	0.61	60	Tokat	0.49	1.29	0.82
27	Gaziantep	0.44	1.20	0.82	61	Trabzon	1.03	1.35	1.23
28	Giresun	0.46	1.30	0.80	62	Tunceli	0.50	1.21	0.73
29	Gümüşhane	0.50	1.33	0.79	64	Uşak	0.39	0.76	0.51
30	Hakkari	0.36	0.68	0.48	65	Van	0.37	0.67	0.48
31	Hatay	0.39	1.15	0.74	77	Yalova	0.60	0.98	0.81
76	Iğdır	0.46	0.85	0.68	66	Yozgat	0.28	1.43	0.86
32	Isparta	0.32	0.55	0.40	67	Zonguldak	0.39	0.73	0.50
34	İstanbul	0.51	1.58	0.86					
35	İzmir	0.45	0.71	0.59					
46	Kahramanmaraş	0.51	1.31	0.74					

Tablo 6'da ZB(2018)/Z1(2007) zemin sınıfları için ASI oranlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. ZB(2018)/Z1(2007) zemin sınıfları için elde edilen ASI oranları haritası ZA(2018)/Z1(2007) zemin sınıfları için elde edilen ASI oranları haritası ile benzer özellikler göstermektedir. Tablo 6'da maksimum ASI oranları için Tekirdağ 1.68 değeri ile; Kayseri, Kırklareli ve Sivas 1.67 değeri ile en yüksek artışın görüldüğü şehirlerdir. En düşük maksimum ASI oranları ise 0.40, 0.54 ve 0.56 değerleri ile sırasıyla Kırşehir, Siirt ve Isparta'da görülmektedir. Ortalama ASI oranlarının en düşükleri 0.24 değeri ile Kırşehir, 0.40 değeri ile Isparta, 0.41 değeri ile Batman, Bartın, Kırıkkale ve Mardin'dedir. En büyük ortalama ASI oranları ise 1.31 değeri ile Kırklareli, 1.25 değeri ile Rize ve Trabzon, 1.14 değeri ile Edirne'dedir. Ortalama ASI oranları Edirne, Kayseri, Kırklareli, Rize, Tekirdağ ve Trabzon illeri dışında genel olarak 1.0'in altındadır. En düşük minimum ASI oranları, 0.16 değeri ile Ağrı ve Kırşehir, 0.17 değeri ile Ankara'dadır. En yüksek minimum ASI oranları, 1.05, 1.00 ve 0.85 değerleri ile sırasıyla Trabzon, Kırklareli ve Rize'dedir.

Yeni deprem yönetmeliğindeki zemin sınıfı ZC, eski yönetmelikteki Z2 zemin sınıfı ile ASI oranı için Şekil 7'de karşılaştırılmıştır. Bu harita incelendiğinde güncellenmiş deprem tehlike haritasında Türkiye'nin dikkat çekici ölçüde geniş bir alanı için deprem tehlikesinin arttığı görülmektedir. En büyük artışlar fay hatlarına yakın olan iller ile Nevşehir, Niğde, Sivas, Yozgat, Kayseri, Edirne, Kırklareli, Sinop, Rize, Trabzon, Giresun ve Artvin illerindedir. Şekil 7, ASI oranları kontur haritası incelendiğinde genel eğilim ZA ve ZB'ye göre artış yönündedir. ASI değerlerinin azaldığı bölgeler, alansal olarak ZA ve ZB zemin sınıflarında gözlemlenenlere göre daha az olmakla beraber yine de mevcuttur. Maksimum 2.52 oranı ile artış ve minimum 0.24 oranı ile azalma gözlemlenmiştir. Kırşehir ve Kırıkkale ile Şanlıurfa, Mardin, Diyarbakır ve Kütahya il sınırları içinde ASI oranlarındaki azalmaların yoğun olarak görüldüğü illerdir.



Şekil 7: ZC ile Z2 için İvme Spektrum Şiddeti oranları

Tablo 7'de ZC(2018)/Z2(2007) zemin sınıfları için il bazında hesaplanan ASI oranlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. ZA ve ZB zemin sınıfı ASI oranlarına göre ZC zemin sınıfındaki ortalama ASI oran değerlerinde yaklaşık yüzde 50'lik bir artış gözlemlenmiştir.

Tablo 6: İl bazında ZB(2018)/Z1(2007) için minimum, maksimum, ortalama ASI oranları

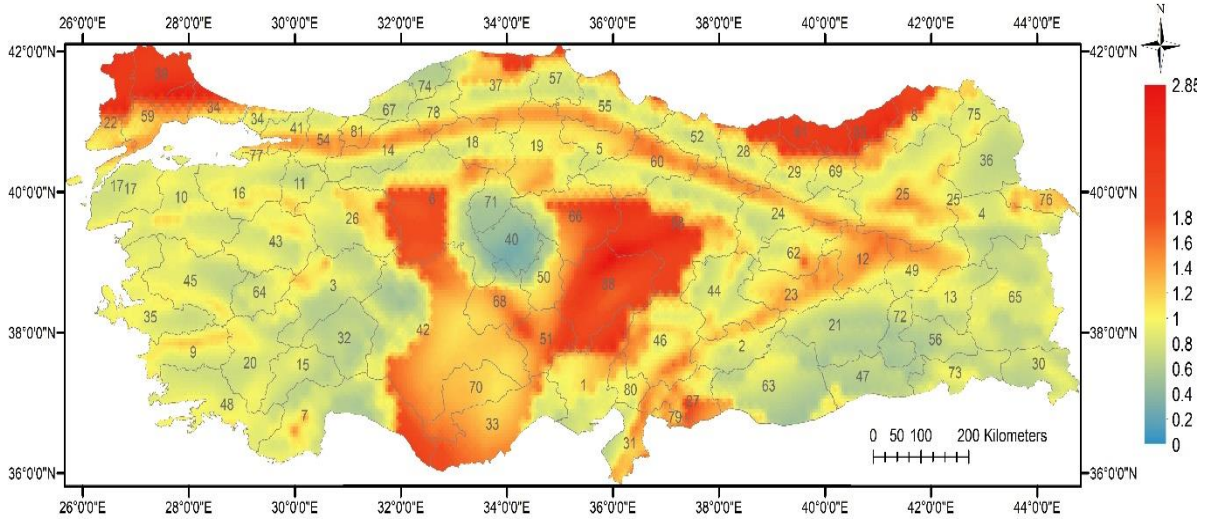
Plaka No	İl	(ZB / Z1) Oranı ASI			Plaka No	İl	(ZB / Z1) Oranı ASI		
		Min	Maks	Ort			Min	Maks	Ort
1	Adana	0.39	1.48	0.73	78	Karabük	0.43	1.20	0.68
2	Adıyaman	0.41	1.00	0.64	70	Karaman	0.58	0.94	0.70
3	Afyonkarahisar	0.34	0.81	0.49	36	Kars	0.39	0.79	0.46
4	Ağrı	0.37	0.91	0.52	37	Kastamonu	0.34	1.36	0.74
68	Aksaray	0.16	0.99	0.64	38	Kayseri	0.73	1.67	1.13
5	Amasya	0.51	1.16	0.83	71	Kırıkkale	0.28	0.75	0.41
6	Ankara	0.17	1.15	0.73	39	Kırklareli	1.00	1.67	1.31
7	Antalya	0.32	1.14	0.61	40	Kırşehir	0.16	0.40	0.24
75	Ardahan	0.48	0.71	0.56	79	Kilis	0.68	1.10	0.87
8	Artvin	0.43	1.24	0.77	41	Kocaeli	0.52	1.16	0.80
9	Aydın	0.48	0.90	0.65	42	Konya	0.26	0.97	0.62
10	Balıkesir	0.46	0.77	0.58	43	Kütahya	0.43	0.74	0.57
74	Bartın	0.34	0.59	0.41	44	Malatya	0.44	1.04	0.64
72	Batman	0.31	0.60	0.41	45	Manisa	0.39	0.83	0.57
69	Bayburt	0.51	1.19	0.63	47	Mardin	0.31	0.69	0.41
11	Bilecik	0.42	0.80	0.56	33	Mersin	0.37	1.08	0.73
12	Bingöl	0.62	1.29	0.98	48	Muğla	0.47	0.78	0.58
13	Bitlis	0.41	0.85	0.53	49	Muş	0.49	1.21	0.81
14	Bolu	0.43	1.26	0.79	50	Nevşehir	0.23	0.93	0.56
15	Burdur	0.36	0.62	0.49	51	Niğde	0.60	1.24	0.89
16	Bursa	0.46	0.83	0.62	52	Ordu	0.47	1.14	0.65
17	Çanakkale	0.49	1.21	0.61	80	Osmaniye	0.53	1.01	0.70
18	Çankırı	0.50	1.18	0.77	53	Rize	0.85	1.42	1.25
19	Çorum	0.52	1.14	0.77	54	Sakarya	0.52	1.17	0.81
20	Denizli	0.42	0.78	0.56	55	Samsun	0.46	1.23	0.75
21	Diyarbakır	0.32	0.93	0.46	56	Siirt	0.32	0.54	0.42
81	Düzce	0.57	1.11	0.83	57	Sinop	0.48	1.33	0.69
22	Edirne	0.70	1.61	1.14	58	Sivas	0.45	1.67	0.99
23	Elazığ	0.46	1.15	0.84	63	Şanlıurfa	0.30	0.89	0.46
24	Erzincan	0.46	1.18	0.74	73	Şırnak	0.30	0.62	0.47
25	Erzurum	0.44	1.21	0.71	59	Tekirdağ	0.66	1.68	1.01
26	Eskişehir	0.40	1.16	0.62	60	Tokat	0.50	1.31	0.84
27	Gaziantep	0.45	1.23	0.84	61	Trabzon	1.05	1.36	1.25
28	Giresun	0.47	1.34	0.82	62	Tunceli	0.51	1.23	0.75
29	Gümüşhane	0.51	1.37	0.81	64	Uşak	0.40	0.77	0.52
30	Hakkari	0.36	0.69	0.48	65	Van	0.38	0.67	0.48
31	Hatay	0.39	1.16	0.75	77	Yalova	0.61	0.99	0.82
76	Iğdır	0.47	0.85	0.68	66	Yozgat	0.30	1.47	0.88
32	Isparta	0.33	0.56	0.40	67	Zonguldak	0.39	0.74	0.51
34	İstanbul	0.52	1.61	0.87					
35	İzmir	0.46	0.72	0.59					
46	Kahramanmaraş	0.52	1.33	0.76					

Tablo 7: İl bazında ZC(2018)/Z2(2007) için minimum, maksimum, ortalama ASI oranları

Plaka No	İl	(ZC / Z2) Oranı ASI			Plaka No	İl	(ZC / Z2) Oranı ASI		
		Min	Maks	Ort			Min	Maks	Ort
1	Adana	0.59	2.23	1.11	78	Karabük	0.64	1.75	1.00
2	Adıyaman	0.60	1.50	0.95	70	Karaman	0.88	1.42	1.06
3	Afyonkarahisar	0.51	1.24	0.74	36	Kars	0.58	1.20	0.69
4	Ağrı	0.56	1.38	0.79	37	Kastamonu	0.51	2.00	1.09
68	Aksaray	0.24	1.51	0.97	38	Kayseri	1.09	2.52	1.69
5	Amasya	0.74	1.71	1.21	71	Kırıkkale	0.42	1.11	0.61
6	Ankara	0.26	1.69	1.08	39	Kırklareli	1.47	2.48	1.94
7	Antalya	0.49	1.73	0.91	40	Kırşehir	0.24	0.59	0.35
75	Ardahan	0.72	1.07	0.84	79	Kilis	0.99	1.59	1.27
8	Artvin	0.65	1.91	1.17	41	Kocaeli	0.76	1.72	1.18
9	Aydın	0.71	1.36	0.97	42	Konya	0.40	1.48	0.95
10	Balıkesir	0.69	1.13	0.88	43	Kütahya	0.65	1.11	0.86
74	Bartın	0.51	0.86	0.61	44	Malatya	0.63	1.55	0.95
72	Batman	0.44	0.90	0.60	45	Manisa	0.59	1.24	0.86
69	Bayburt	0.74	1.78	0.94	47	Mardin	0.46	0.98	0.59
11	Bilecik	0.62	1.19	0.82	33	Mersin	0.57	1.62	1.10
12	Bingöl	0.91	1.90	1.45	48	Muğla	0.70	1.17	0.86
13	Bitlis	0.61	1.28	0.80	49	Muş	0.73	1.81	1.20
14	Bolu	0.62	1.83	1.15	50	Nevşehir	0.34	1.40	0.83
15	Burdur	0.55	0.93	0.74	51	Niğde	0.91	1.89	1.35
16	Bursa	0.68	1.22	0.92	52	Ordu	0.68	1.66	0.95
17	Çanakkale	0.72	1.80	0.90	80	Osmaniye	0.78	1.52	1.04
18	Çankırı	0.73	1.73	1.13	53	Rize	1.31	2.18	1.93
19	Çorum	0.76	1.67	1.12	54	Sakarya	0.76	1.73	1.19
20	Denizli	0.64	1.18	0.84	55	Samsun	0.66	1.81	1.10
21	Diyarbakır	0.46	1.38	0.68	56	Siirt	0.47	0.82	0.63
81	Düzce	0.83	1.64	1.23	57	Sinop	0.70	1.94	1.00
22	Edirne	1.02	2.37	1.68	58	Sivas	0.66	2.51	1.45
23	Elazığ	0.67	1.70	1.25	63	Şanlıurfa	0.43	1.26	0.67
24	Erzincan	0.67	1.73	1.08	73	Şırnak	0.44	0.94	0.71
25	Erzurum	0.67	1.86	1.06	59	Tekirdağ	0.96	2.50	1.50
26	Eskişehir	0.60	1.69	0.92	60	Tokat	0.73	1.90	1.23
27	Gaziantep	0.66	1.80	1.23	61	Trabzon	1.57	2.06	1.88
28	Giresun	0.68	1.97	1.21	62	Tunceli	0.75	1.81	1.10
29	Gümüşhane	0.74	2.02	1.20	64	Uşak	0.60	1.16	0.78
30	Hakkari	0.55	1.03	0.72	65	Van	0.56	1.02	0.73
31	Hatay	0.59	1.73	1.11	77	Yalova	0.89	1.47	1.22
76	İğdir	0.70	1.29	1.03	66	Yozgat	0.42	2.16	1.28
32	Isparta	0.50	0.85	0.61	67	Zonguldak	0.59	1.11	0.75
34	İstanbul	0.77	2.39	1.29					
35	İzmir	0.68	1.08	0.89					
46	Kahramanmaraş	0.78	2.00	1.12					

Tablo 7'ye göre maksimum ASI oranları 2.52, 2.51 ve 2.50 değerleri ile sırasıyla Kayseri, Sivas ve Tekirdağ en yüksek artışın görüldüğü şehirlerdir. En düşük maksimum ASI oranlarındaki artış ise 0.59, 0.82 ve 0.85 değerleri ile sırasıyla Kırşehir, Siirt ve Isparta'da görülmektedir. Ortalama ASI oranlarının en düşükleri 0.35, 0.59 ve 0.60 değerleri ile sırasıyla Kırşehir, Mardin ve Batman illerindedir. Ortalama ASI oranlarının en yüksekleri ise 1.94, 1.93 ve 1.88 değerleri ile sırasıyla Kırklareli, Rize ve Trabzon'dadır. Ortalama ASI oranları birçok ilde genel bir artış ile 1.0 değerinin üstüne çıkmıştır. En yüksek minimum ASI oranları 1.57, 1.47 ve 1.31 değerleri ile sırasıyla Trabzon, Rize ve Kırklareli'dedir. En düşük minimum ASI oranları 0.24 değeri ile Aksaray ve Kırşehir ile 0.26 değeri ile Ankara'dadır.

ZD ile Z3 zemin sınıfları bazlı karşılaştırmayı görselleştiren Şekil 8'den görülebileceği üzere; ASI oranlarındaki artış eğilimi yayıldığı alan bakımından daha da fazladır. İl sınırları içinde ASI oranlarında düşüşün gözlemlendiği yerler; Kırşehir, Kırıkkale ve çevresi, Şanlıurfa, Mardin, Batman ve Diyarbakır'ın büyük bir kısmı olup ZC zemin sınıfında gözlemlenene göre daha küçük bir alan kaplamaktadır. Kırklareli, Edirne, Sinop, Rize ve Trabzon ve çevrelerinde ASI oranlarında ki artış eğilimi devam etmektedir. ASI oranları için minimum oran 0.28 iken, maksimum oran 2.85'tir. ZD zemin sınıfında gözlemlenen ve beklenen maliyet artışının yayılı alan da dikkate alındığında ZC zemin sınıfından daha çok olacağı kesindir.



ASI(2018,ZD)/ASI(2007,Z3)
min=0.28 – maks=2.85

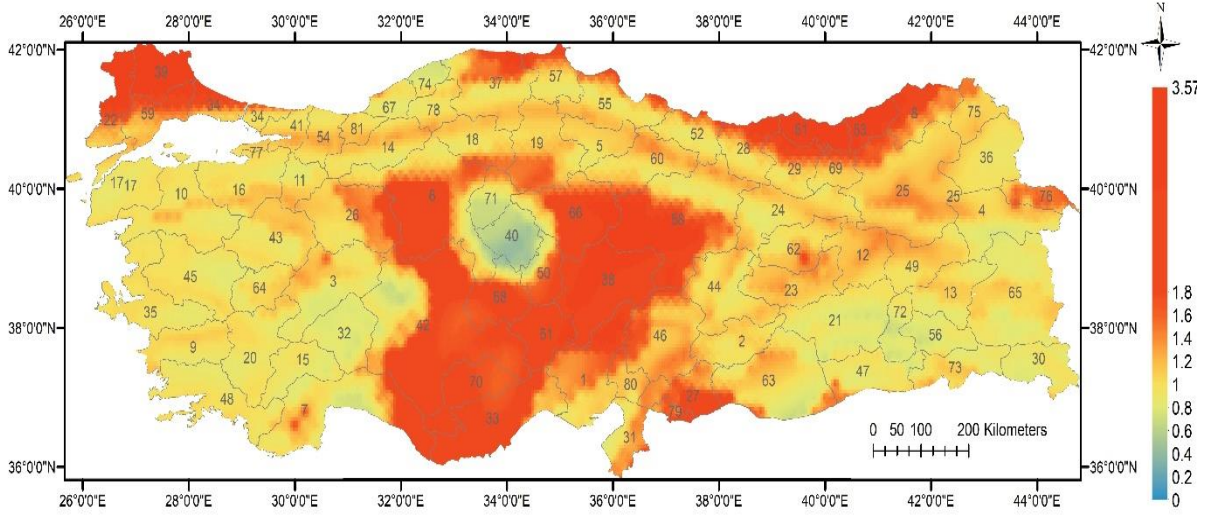
Şekil 8: ZD ile Z3 için İvme Spektrum Şiddeti oranları

Tablo 8'de ZD(2018)/Z3(2007) zemin sınıfları için ASI oranlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. ZC zemin sınıfı ASI oranlarına göre ZD zemin sınıfındaki ortalama oran değerlerinde yaklaşık yüzde 13'lük bir artış gözlemlenmiştir ve 1.0 değerini geçen il sayısı yaklaşık yüzde 30 artmıştır. Tablo 8'de maksimum ASI oranları içinde en yüksek artışın görüldüğü iller 2.85, 2.82 ve 2.72 değerleri ile sırasıyla Kayseri, Sivas ve Tekirdağ'dır. En düşük maksimum ASI oranlarının görüldüğü iller 0.68, 0.89 ve 0.92 değerleriyle sırasıyla Kırşehir, Siirt ve Batman'dır. Ortalama ASI oranlarının en düşükleri 0.42, 0.66 değerleri ile Kırşehir ve Batman ile 0.68 değeri ile Bartın ve Mardin'dedir. En yüksek ortalama ASI oranlarının görüldüğü iller ise 2.24, 2.20 ve 2.14 değerleri ile Rize, Kırklareli ve Trabzon'dur. En yüksek minimum ASI oranları, 1.78, 1.57 ve 1.51 değerleri ile sırasıyla Trabzon, Rize ve Kırklareli'dedir. En düşük minimum ASI oranları 0.28 değeri ile Aksaray ve Kırşehir ile 0.31 değeri ile Ankara'dadır.

Tablo 8: İl bazında ZD(2018)/Z3(2007) için minimum, maksimum, ortalama ASI oranları

Plaka No	İl	(ZD / Z3) Oranı			Plaka No	İl	(ZD / Z3) Oranı		
		ASI					ASI		
		Min	Maks	Ort			Min	Maks	Ort
1	Adana	0.69	2.52	1.27	78	Karabük	0.70	1.53	0.98
2	Adıyaman	0.68	1.36	0.96	70	Karaman	1.08	1.71	1.30
3	Afyonkarahisar	0.59	1.35	0.82	36	Kars	0.68	1.22	0.78
4	Ağrı	0.63	1.50	0.86	37	Kastamonu	0.58	2.23	1.12
68	Aksaray	0.28	1.83	1.18	38	Kayseri	1.31	2.85	1.98
5	Amasya	0.77	1.50	1.11	71	Kırıkkale	0.49	1.22	0.69
6	Ankara	0.31	1.93	1.24	39	Kırklareli	1.56	2.70	2.20
7	Antalya	0.56	2.03	1.04	40	Kırşehir	0.28	0.68	0.42
75	Ardahan	0.82	1.21	0.94	79	Kilis	1.12	1.82	1.40
8	Artvin	0.75	2.25	1.36	41	Kocaeli	0.80	1.51	1.11
9	Aydın	0.76	1.26	0.97	42	Konya	0.49	1.78	1.15
10	Balıkesir	0.75	1.15	0.90	43	Kütahya	0.72	1.15	0.91
74	Bartın	0.58	0.93	0.68	44	Malatya	0.71	1.40	0.97
72	Batman	0.52	0.92	0.66	45	Manisa	0.66	1.15	0.88
69	Bayburt	0.78	2.01	1.04	47	Mardin	0.54	1.12	0.68
11	Bilecik	0.67	1.21	0.87	33	Mersin	0.67	1.90	1.33
12	Bingöl	0.91	1.67	1.31	48	Muğla	0.75	1.10	0.89
13	Bitlis	0.68	1.20	0.85	49	Muş	0.77	1.59	1.14
14	Bolu	0.66	1.60	1.08	50	Nevşehir	0.40	1.68	0.98
15	Burdur	0.62	0.94	0.79	51	Niğde	1.08	2.19	1.62
16	Bursa	0.73	1.22	0.94	52	Ordu	0.72	1.73	0.97
17	Çanakkale	0.76	1.57	0.90	80	Osmaniye	0.83	1.64	1.11
18	Çankırı	0.76	1.52	1.10	53	Rize	1.51	2.51	2.24
19	Çorum	0.79	1.46	1.13	54	Sakarya	0.80	1.52	1.12
20	Denizli	0.71	1.12	0.88	55	Samsun	0.70	1.99	1.08
21	Diyarbakır	0.53	1.26	0.73	56	Siirt	0.54	0.89	0.70
81	Düzce	0.85	1.45	1.14	57	Sinop	0.73	2.16	1.08
22	Edirne	0.99	2.58	1.84	58	Sivas	0.70	2.82	1.57
23	Elazığ	0.72	1.56	1.19	63	Şanlıurfa	0.49	1.44	0.76
24	Erzincan	0.71	1.52	1.04	73	Şırnak	0.52	1.02	0.80
25	Erzurum	0.76	2.13	1.10	59	Tekirdağ	0.95	2.72	1.54
26	Eskişehir	0.69	1.93	1.05	60	Tokat	0.75	1.66	1.16
27	Gaziantep	0.74	2.04	1.33	61	Trabzon	1.78	2.36	2.17
28	Giresun	0.73	2.22	1.29	62	Tunceli	0.78	1.72	1.08
29	Gümüşhane	0.78	2.26	1.29	64	Uşak	0.67	1.20	0.85
30	Hakkari	0.62	1.09	0.78	65	Van	0.63	1.08	0.80
31	Hatay	0.65	1.62	1.11	77	Yalova	0.90	1.33	1.13
76	İğdır	0.80	1.41	1.16	66	Yozgat	0.48	2.39	1.46
32	Isparta	0.58	0.98	0.69	67	Zonguldak	0.65	1.22	0.80
34	İstanbul	0.81	2.62	1.36					
35	İzmir	0.73	1.03	0.90					
46	Kahramanmaraş	0.87	2.26	1.19					

Şekil 9 üzerinden zemin sınıfı ZE ve Z4 için değerlendirme yapılacak olunursa, Türkiye'nin neredeyse tümünde ASI oranı 1.0'den büyük iken, Kırşehir, Kırıkkale, Mardin ve civarında il sınırları içinde ASI oranlarında 1.0 değerinin altında yerler mevcuttur. Zemin sınıfı ZE için minimum ASI oranı 0.41 ve maksimum ASI oranı ise 3.57'dir. Bütün zemin sınıfları için verilen haritalar incelendiğinde, Kırıkkale ve Kırşehir 1.0'den küçük spektral şiddet oranlarına sahiptir. ZE zemin sınıfında, DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) yönetmeliklerine göre hesaplanan ASI değerleri dikkate alındığında, Türkiye genelinde en fazla maliyet artışının olması muhtemeldir.



ASI(2018,ZE)/ASI(2007,Z4)
min=0.41 – maks=3.57

Şekil 9: ZE ile Z4 için İvme Spektrum Şiddeti oranları

Tablo 9'da ZE(2018)/Z4(2007) zemin sınıfları için ASI oranlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. ZD zemin sınıfı ASI oranlarına göre ZE zemin sınıfındaki ortalama oran değerlerinde yaklaşık yüzde 30'luk bir artış gözlemlenmiştir. Ortalama ASI oranları hemen hemen bütün illerde genel bir artış ile 1.0 değerinin üstündedir. Tablo 9'da en yüksek maksimum ASI oranları Kayseri, Sivas ve Tekirdağ'da, sırasıyla 3.57, 3.52 ve 3.25 değerleri ile görülmüştür. En düşük maksimum ASI oranları, 0.89, 0.99 ve 1.00 değerleri ile sırasıyla Kırşehir, Batman ve Burdur illerindedir. Ortalama ASI oranlarının en düşükleri 0.58, 0.83, 0.83 ve 0.84 değerleri ile Kırşehir, Batman, Bartın ve Siirt'tedir. En yüksek ortalama ASI oranları ise 2.87, 2.85 ve 2.82 değerleri ile Rize, Kırklareli ve Trabzon'dadır. En yüksek minimum ASI oranları, 2.25, 1.89 ve 1.78 değerleri ile sırasıyla Trabzon, Rize ve Kırklareli'dedir. En düşük minimum ASI oranları 0.41 değeri ile Aksaray ve Kırşehir ile 0.45 değeri ile Ankara'dadır.

4. SONUÇLAR

Yeni bina deprem yönetmeliği, binanın önemine bağlı olarak farklı tekrarlanma periyotları ile kontrol edilen güncellenmiş deprem tehlike haritalarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Genellikle standart tasarım deprem yer hareketi düzeyi olarak kabul gören 475 yıllık tekrarlanma periyoduna karşılık gelen deprem yer hareketi düzeyi için incelemeler yapılmış ve PGA ve ASI parametrelerinin değişimi 1996 Deprem Bölgeleri Haritası ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma yapılırken 1996 Deprem Bölgeleri Haritasının yaklaşık 4000 nokta için belirlenmiş olan A_0 değerleri DBYBHY (2007)'de belirtilen sınırlandırmalar dikkate alınarak kullanılmıştır. Böylelikle koordinat temelinde bir karşılaştırma mümkün olmuştur.

Tablo 9: İl bazında ZE(2018)/Z4(2007) için minimum, maksimum, ortalama ASI oranları

Plaka No	İl	(ZE / Z4) Oranı ASI			Plaka No	İl	(ZE / Z4) Oranı ASI		
		Min	Maks	Ort			Min	Maks	Ort
1	Adana	0.86	3.11	1.62	78	Karabük	0.83	1.31	1.02
2	Adıyaman	0.87	1.39	1.05	70	Karaman	1.56	2.40	1.88
3	Afyonkarahisar	0.76	1.62	0.99	36	Kars	0.90	1.31	0.99
4	Ağrı	0.77	1.72	1.01	37	Kastamonu	0.74	2.86	1.29
68	Aksaray	0.41	2.57	1.70	38	Kayseri	1.76	3.57	2.69
5	Amasya	0.87	1.29	1.07	71	Kırıkkale	0.66	1.52	0.90
6	Ankara	0.45	2.60	1.65	39	Kırklareli	1.78	3.23	2.85
7	Antalya	0.72	2.71	1.32	40	Kırşehir	0.41	0.89	0.58
75	Ardahan	1.03	1.54	1.16	79	Kilis	1.27	2.49	1.75
8	Artvin	0.96	2.92	1.79	41	Kocaeli	0.90	1.31	1.09
9	Aydın	0.87	1.18	1.01	42	Konya	0.67	2.47	1.63
10	Balıkesir	0.86	1.26	0.99	43	Kütahya	0.85	1.26	1.03
74	Bartın	0.73	1.09	0.83	44	Malatya	0.84	1.57	1.07
72	Batman	0.69	0.99	0.83	45	Manisa	0.81	1.09	0.95
69	Bayburt	0.89	2.55	1.26	47	Mardin	0.76	1.56	0.96
11	Bilecik	0.80	1.31	1.01	33	Mersin	0.89	2.60	1.90
12	Bingöl	0.98	1.46	1.18	48	Muğla	0.86	1.18	0.96
13	Bitlis	0.82	1.20	0.97	49	Muş	0.87	1.39	1.10
14	Bolu	0.79	1.37	1.06	50	Nevşehir	0.57	2.37	1.41
15	Burdur	0.78	1.00	0.91	51	Niğde	1.50	2.84	2.26
16	Bursa	0.84	1.29	1.02	52	Ordu	0.84	2.26	1.11
17	Çanakkale	0.87	1.37	0.96	80	Osmaniye	0.93	1.88	1.26
18	Çankırı	0.88	1.73	1.15	53	Rize	1.89	3.12	2.87
19	Çorum	0.89	1.67	1.24	54	Sakarya	0.90	1.32	1.08
20	Denizli	0.85	1.19	0.96	55	Samsun	0.83	2.47	1.16
21	Diyarbakır	0.71	1.15	0.88	56	Siirt	0.71	1.07	0.84
81	Düzce	0.93	1.25	1.09	57	Sinop	0.84	2.82	1.35
22	Edirne	1.03	3.16	2.28	58	Sivas	0.82	3.52	1.93
23	Elazığ	0.85	1.43	1.17	63	Şanlıurfa	0.69	2.01	1.05
24	Erzincan	0.82	1.32	1.05	73	Şırnak	0.74	1.30	0.97
25	Erzurum	0.90	2.63	1.21	59	Tekirdağ	1.01	3.25	1.70
26	Eskişehir	0.92	2.61	1.34	60	Tokat	0.86	1.81	1.15
27	Gaziantep	0.97	2.70	1.65	61	Trabzon	2.25	2.99	2.82
28	Giresun	0.87	2.87	1.54	62	Tunceli	0.88	1.87	1.14
29	Gümüşhane	0.89	2.89	1.56	64	Uşak	0.82	1.30	1.00
30	Hakkari	0.78	1.21	0.89	65	Van	0.78	1.20	0.95
31	Hatay	0.80	1.78	1.17	77	Yalova	0.97	1.17	1.08
76	İğdır	1.01	1.65	1.42	66	Yozgat	0.68	3.00	1.95
32	Isparta	0.74	1.30	0.84	67	Zonguldak	0.81	1.48	0.94
34	İstanbul	0.91	3.16	1.57					
35	İzmir	0.85	1.04	0.97					
46	Kahramanmaraş	1.01	2.81	1.36					

Spektrum şiddet oranları gerek il bazında gerekse haritalar üzerinden incelendiğinde 1996 Deprem Bölgeleri Haritası'nda deprem tehlikesi düşük olan bölgeler ile faylara çok yakın bölgelerde büyük değişimler gözlemlenmiştir. PGA oranlarındaki değişim incelendiğinde, Türkiye genelinde yaklaşık olarak yüzde 50'lik bir artış gerçekleşmiştir. ZA ve ZB yerel zemin sınıfları ile DBYBHY (2007) yönetmeliğinde bunlara karşılık gelen Z1 yerel zemin sınıfı için ASI oranları incelendiğinde en çok değişimin görüldüğü illerin önceki haritada birinci derece deprem bölgesinde bulunan Kırşehir ve Kırıkkale ile önceki haritada birden fazla deprem bölgesini il sınırları içinde bulunduran Kayseri ve Sivas illerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Edirne, Rize ve Trabzon illerinde de spektrum şiddet oranlarının arttığı gözlemlenmiştir. Aksaray, Kırşehir ve Kırıkkale azalmanın en çok görüldüğü şehirlerdir. Diyarbakır, Şanlıurfa ve Mardin'de de ASI oranlarında azalma gözlemlenmiştir.

2018 Deprem Tehlike Haritası'nda, ZE-Z4 zemin sınıfı için hemen hemen tüm koordinatlarda ASI değerleri diğer zemin sınıflarına göre artış göstermiştir. ASI değerlerindeki artış hem deprem tehlike haritalarının değişiminden hem de spektrum tanımının değişmesinden kaynaklanmaktadır. ZA, ZB ve ZC zemin sınıflarında en büyük ortalama ASI oranı artışı Kırklareli'de iken ZD ve ZE zemin sınıflarında Rize ilindedir.

Türkiye'deki bina stokunun periyot aralığını yansıttığını düşündüğümüz ASI oranlarına göre, il bazında zemin sınıfına bağlı olarak maksimum 1.65 ile 3.57 değerleri ile artış gösteren bölgeler mevcuttur. Azalmanın görüldüğü illerde ise minimum ASI oranları farklı zemin sınıfları için 0.16 ile 0.41 değerleri arasında değişmektedir. Haritalardan elde edilen sonuçların, kullanılan veri koordinatlarında yüzde yüze yakın doğru sonuç vermesi beklenirken, verilen koordinat noktalarının dışında kalan noktalarda ise olası muhtemel hatanın yaklaşık olarak en fazla % 3-4 arasında olması beklenmektedir. Karşılaştırma en fazla artış oranının gözlemlendiği ZE zemin sınıfı için hazırlanan ASI oranları haritasından seçilen rastgele noktalar için yapılmıştır. ASI oranlarındaki değişimlerin yapısal sistemlerin malzeme ve inşaat maliyetlerindeki değişime emsal teşkil edeceği düşüncesiyle şunu belirtmek gerekir ki, yapının oturduğu ZA ve ZB gibi nispeten iyi zemin sınıflarında yapı maliyetlerinin eskisine nazaran genellikle daha düşük olabileceği, fakat zemin profilinin daha zayıf ya da kötü olduğu durumlarda Türkiye genelinde yapı maliyetlerinin eskisine nazaran artacağı öngörülmektedir. Ancak, bu potansiyel maliyet değişimlerinin doğrudan belirlenmesi başka bir çalışmanın konusudur.

TEŞEKKÜR

Üçüncü yazar, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından Yurtiçi Doktora Burs Programı ile finansal olarak desteklenmiştir. Çalışmanın ArcGIS haritalama bölümünde Sayın Okan Çağrı Bozkurt tarafından verilen teknik destek için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

ABYYHY, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

Erişim adresi: <http://tdth.afad.gov.tr/TDTH>

Afet Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Yuvarlak Masa Toplantıları ve DMC Arşivi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Erişim adresi: <https://dmc.metu.edu.tr/node/69>

Akansel V.H., Soysal B.F., Kadaş K., Gülkan P.H., 2019. An Evaluation of the 2019 Seismic Hazard Map of Turkey on the Basis of Spectrum Intensity, 5th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 5ICEES, Ankara, Türkiye.

Akkar S., Eroğlu Azak T., an T., eken U., Demircioğlu M.B., Duman T., Ergintav S., Kadirioğlu F.T., Kalafat D., Kale ., Kartal R.F., Kılıç T., zalp S., ŐeŐetyan K., Tekin S., Yakut A., Yılmaz M.T., Zülfikar ., 2014. Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Gncellenmesi, (UDAP--13-06), Ulusal Deprem Araştırma Programı, Aralık 2014, Ankara.

Akkar S., Kale O., Yakut A., Ceken U., 2017. Ground-motion characterization for the probabilistic seismic hazard assessment in Turkey, *Bull. Earthq. Eng.* (16), 3439-3463, <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0101-2>

Akkar S., Azak T., an T. et al., 2018. Evolution of seismic hazard maps in Turkey, *Bull. Earthq. Eng.* (16), 3197–3228, <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0349-1>

ASCE, 2016. Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-16), ASCE, Reston, VA.

Bozer A., 2020. Tasarım Spektral İvme Katsayılarının DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 Yönetmeliklerine Göre KarŐılaŐtırması, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(1) , 393-404, DOI: 10.24012/dumf.559965

DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İŞleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, 2007. Erişim adresi: <http://www.deprem.afad.gov.tr>

ESRI, 2011. ArcGIS Desktop: Release 10, Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Gulkan P., 2000. Building code enforcement prospects: The failure of public policy, *Earthquake Spectra* 16(1_suppl), 351-374.

Gülkan P., Koyiğit A., Ycemen M.S., Doyuran V., BaŐz N., 1993. En son verilere göre hazırlanan Türkiye deprem bölgeleri haritası, ODT, Deprem Mhendisliği Araştırma Merkezi, Rapor No: 93-01, Ocak, Ankara, Türkiye.

Housner G.W., 1959. Behavior of structures during earthquakes, *Journal of Applied Mechanics Division ASCE*, Proceedings Paper 2220, 85, EM4, p:109-129.

Housner G.W., Jennings P.C., 1982. Earthquake design criteria. Earthquake Engineering Research Institute Monograph, Oakland, CA.

Kalkan E., Gulkan P., 2004. Site-Dependent Spectra Derived from Ground Motion Records in Turkey, *Earthquake Spectra* 20(4), 1111-1138.

zmen B., Nurlu M., Güler H., 1997. Coğrafi Bilgi Sistemi ile Deprem Bölgelerinin İncelenmesi. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İŞleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

zmen B., 2018. Yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve Deprem Tehlike Haritasının Yerbilimleri Açısından Değerlendirilmesi, Aktif Tektonik Araştırma Grubu 22. alıŐtay, ATAG 22, 1-3 Kasım 2018, Çanakkale, Türkiye.

Pampal S., zmen B., 2007. Türkiye deprem bölgeleri haritalarının gelişimi, Proceedings of the 6th National Conference on Earthquake Engineering, 16-20 October, İstanbul, Turkey.

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

TDBH-İndeks, 1996. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (18.04.1996) İndeks Yerleşim Birimleri ve Deprem Bölgeleri, T. C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, Temmuz 1996.

Erişim adresi: https://deprem.afad.gov.tr/images/depbolge/deprem_indeks.pdf

TDTH 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Erişim adresi: tdth.afad.gov.tr

UBC, 1997. Uniform Building Code, California, U.S.A.

Von Thun J.L., Roehm L.H., Scott G.A., Wilson J.A., 1988. Earthquake ground motions for design and analysis of dams. *Proc., Earthquake Engineering and Soil Dynamics II—Recent Advances in Ground Motion Evaluation*, Geotechnical Special Publication, 20, ASCE, New York, 463-481.

Yakut A., Yılmaz H., 2008. Correlation of deformation demands with ground motion intensity, *Journal of Structural Engineering* 134 (12), 1818-1828.



Investigation of the Temporal and Spatial Properties of Earthquake Activity and Gutenberg-Richter Parameters in the Vicinity of Manisa Akhisar

Haluk Eyidogan¹

¹Saksili Sokak, Deniz Apt., 3/1, D.2, Heybeliada, Adalar, 34970, Istanbul, Turkey
ORCID: 0000-0003-4218-5106

Keywords

Earthquake swarm, decrease in b-value, completeness magnitude, active fault, extensional tectonics

Highlights

- * Decrease in b-value before the seismic activity
- * Spatial and temporal change of Gutenberg-Richter (G-R) parameters
- * Relationship between earthquake parameters and fault mechanism solutions of active faults

Acknowledgements

The author thanks AFAD and KRDAE for making earthquake data and reports available.

Aim

In this study, spatial and temporal characteristics of seismicity and G-R parameters were analyzed for Akhisar-Golmarmara (western Turkey) region.

Location

Akhisar-Golmarmara region of Manisa City (western Turkey)

Methods

Spatial and temporal changes of Gutenberg-Richter parameters (b-value, a-value and M_c value) were analyzed using ZMAP algorithm.

Results

Two of the four earthquake activities in Akhisar-Golmarmara (western Turkey) had an obvious b-value decreasing pattern. It is suggested that the reason for the decrease in b-value is related to the increase in effective stress on normal faults before the activity.

Supporting Institutions

--

Manuscript

Research Article

Received: 31.07.2020

Revised: 10.09.2020

Accepted: 10.09.2020

Printed: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.776186

Corresponding Author

Haluk Eyidogan

Email: halukeyidogan@yahoo.com.tr

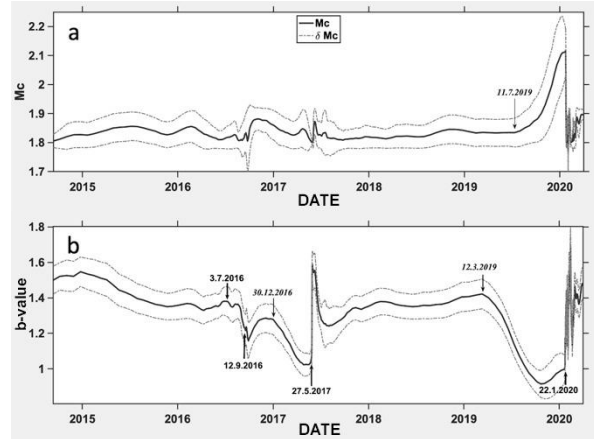


Figure
b-value decreasing and M_c increasing pattern in Akhisar-Golmarmara earthquake activity

How to cite

Eyidogan H., 2020. Investigation of the Temporal and Spatial Properties of Earthquake Activity and Gutenberg-Richter Parameters in the Vicinity of Manisa Akhisar, *Turk. J. Earthq. Res.* 2 (2), 138-159, <https://doi.org/10.46464/tdad.776186>



Manisa Akhisar Civarındaki Deprem Aktivitesi ile Gutenberg-Richter Parametrelerinin Zamansal ve Mekânsal Özelliklerinin İncelenmesi

Haluk Eyidoğan¹

¹ Saksılı Sokak, Deniz Apt., 3/1, D.2, Heybeliada, Adalar, 34970, İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0003-4218-5106

ÖZET

Batı Anadolu Gediz Çöküntü Havzası'nın kuzey kanadında yer alan Soma-Akhisar-Gölmarmara çevresinde 2016-2020 tarihleri arasında olmuş dört deprem etkinliği değerlendirilmiştir. 3 Temmuz 2016, 12 Eylül 2016, 27 Mayıs 2017 ve 22 Ocak 2020 tarihlerindeki deprem etkinliklerinin dışmerkez dağılımlarının, fay mekanizması çözümlerinin, sismik enerji yoğunluklarının ve G-R değişkenlerinin mekânda ve zamanda değişimleri dikkat çekici örüntüler oluşturmuştur. 2017 ve 2020 deprem etkinlikleri öncesinde b-değerinde önemli düşüş örüntüleri oluşmuştur. b-değeri düşüşü 2017 aktivitesinden 148 gün önce başlarken, benzer düşüş daha büyük olan 2020 aktivitesinden 316 gün önce başlamıştır. Soma-Akhisar-Gölmarmara havzasında oluşan 2017 ve 2020 etkinliklerindeki b-değerinin önemli derecede düşüş nedeni bölgedeki fayların üzerindeki etkin gerilimin artması ve deprem aktivitesi öncesi fiziksel değişim süreci etkisi olabilir.

Anahtar kelimeler

Deprem kümelenmesi, b-değeri düşüşü, deprem büyüklüğü tamlığı, aktif fay, genişleme tektoniği

Öne Çıkanlar

- * Deprem etkinliği öncesi b-değeri düşüşü
- * G-R değişkenlerinin zaman ve mekânda değişimi
- * Deprem değişkenlerinin ve fay mekanizması çözümlerinin Akhisar çevresinde aktif faylarla ilişkileri

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 31.07.2020
Düzeltilme: 10.09.2020
Kabul: 10.09.2020
Basım: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.776186

Sorumlu yazar

Haluk Eyidoğan
Eposta:
halukeyidogan@yahoo.com.tr

Investigation of the Temporal and Spatial Properties of Earthquake Activity and Gutenberg-Richter Parameters in the Vicinity of Manisa Akhisar

Haluk Eyidoğan¹

¹ Saksılı Sokak, Deniz Apt., 3/1, D.2, Heybeliada, Adalar, 34970, İstanbul, Turkey
ORCID: 0000-0003-4218-5106

ABSTRACT

Four earthquake activities between 2016 and 2020 were evaluated in the vicinity of Soma-Akhisar-Gölmarmara in the northern segment of the Gediz Graben, western Turkey. Changes in epicentral distribution, fault mechanism solutions, seismic energy densities and G-R parameters of earthquake activities on July 3, 2016, September 12, 2016, May 27, 2017 and January 22, 2020, have created remarkable patterns in space and time. Prior to the 2017 and 2020 earthquake events, significant patterns of decrease in b-value occurred. The b-value decline started 148 days before 2017 activity, while a similar decline started 316 days before the larger 2020 activity. The reason for the significant decrease in the b-value in the 2017 and 2020 activities occurring in the Soma-Akhisar-Gölmarmara basin may be due to the increase in the effective stress on the faults in the region and the physical change process before the intensive earthquake activity.

Keywords

Earthquake swarm, decrease in b-value, completeness magnitude, active fault, extensional tectonics

Highlights

- * Decrease in b-value before the seismic activity
- * Spatial and temporal change of Gutenberg-Richter (G-R) parameters
- * Relationship between earthquake parameters and fault mechanism solutions of active faults

Manuscript

Research Article

Received: 31.07.2020
Revised: 10.09.2020
Accepted: 10.09.2020
Printed: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.776186

Corresponding Author

Haluk Eyidoğan
Email:
halukeyidogan@yahoo.com.tr

1. GİRİŞ

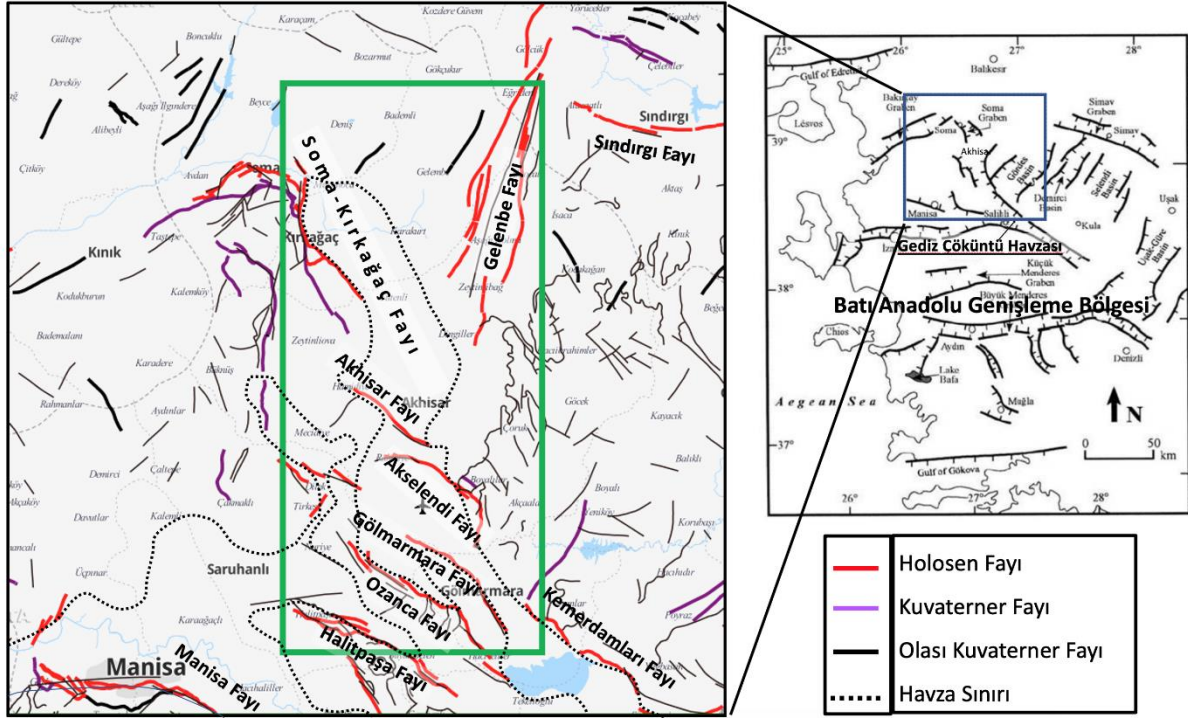
Türkiye'nin Manisa İli'nin Soma-Akhisar-Gölmarmara çevresinde son yıllarda sıkça gündeme gelen yoğun deprem etkinlikleri olmaktadır. Batı Anadolu'nun genç ve karmaşık tektonik yapısı nedeniyle (Sengor 1987, Yılmaz ve diğ. 2000, Emre ve diğ. 2016) büyük ve yıkıcı depremler oluşmasının yanı sıra, deprem fırtınasını andıran deprem etkinlikleri yaşanmaktadır. Bu tür deprem etkinlikleri fazla hasar yapmamakla birlikte, uzun süren ve çevre halkını tedirgin eden bir durum yaratmaktadır (Demirtaş ve diğ. 2002, Yeken 2016, AFAD 2016; 2019; 2020a, Demirtaş 2020, Eyidoğan 2020, KRDAE 2014; 2020).

Deprem etkinlikleri zaman ve mekân içerisinde incelendiğinde özelliklerine göre mutad (background) depremler, öncü depremler, ana deprem ve artçı depremler olarak sınıflanır (Mogi 1963). Bu ayrımın zor olduğu ve çok sayıda küçük ve orta kuvvette depremlerden oluşan etkinlikler, deprem kümelenmesi veya deprem fırtınası olarak tanımlanır. Deprem fırtınaları gün, ay veya hatta yıllarca sürebilir. Böylesine bir sismik enerji salımı davranışı, büyük bir depremi (ana deprem) izleyen bir dizi artçı deprem sürecinden farklı seyrederek. Küme veya fırtına türündeki depremler çoğunlukla volkan, jeotermal kaynak ve okyanus ortası yarıkların bulunduğu alanlarda görülmektedir (Sykes 1970, Hill 1977, Ishida 1984). Kıta içerisi alanlarda deprem fırtınalarına özellikle genç jeolojik hareketlerin ve normal fayların bulunduğu çöküntü havzalarının yoğunlaştığı bölgelerde rastlanır.

Volkan etkinliklerinde mağmanın hareketleri sırasında ve yeryüzüne çıkarken çevre kayalarda yarattığı ek gerinim (strain) ve gerilim (stress) nedeniyle farklı boyutlarda faylanma ve kırılmalar gerçekleşmekte, dolayısıyla fırtınaya dönüşen depremler yaratacak yoğun küçük deprem etkinliği oluşmaktadır (Jacobs ve McNutt 2010). Yeraltına büyük miktarda basılan su veya sıvının yeraltındaki kırık ve faylara sızması (diffusion) durumunda, doğal dengeyi sağlayan gerilim alanı bozulur ve fırtınaya dönüşen küçük depremler tetiklenebilir (Hainzl ve Ogata 2005, Heinicke ve diğ. 2018, Hicks ve diğ. 2019). Jeotermal alanlarda doğal veya dış müdahalelerle termal denge değişimleri ve sıcak su akımlarının faylar/kırıklar ile etkileşimi deprem fırtınalarına neden olabilmektedir (Fischer ve diğ. 2010).

İnceleme alanımız batı Anadolu'nun güncel (genç) tektonik hareketlerin baskın olduğu ve deprenselliği yüksek alanlarından biridir. Afrika, Arap ve Avrasya Levhaları arasında kalan ve sürekli sıkışan Anadolu Levhası, günümüzde bu sıkışma rejimi altında çok karmaşık bir sismo-tektonik yapı sergilemektedir. Anadolu'nun yerkabuğu, bu kuzey-güney yönlü sıkışma altındayken (McKenzie 1978) Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı üzerinden batı yönünde hareket eder (Ketin 1969). Bu hareket sonucu Doğu Anadolu'daki yerkabuğu sıkışıp kalınlaşırken, batı Anadolu'nun yerkabuğu kuzeydoğu-güneybatı yönlü bir açılma gerilimi etkisi altında genişleyip incelik ve yılda ortalama 20 mm'lik bir hızla batıya doğru bir 'tektonik kaçış' hareketi sergiler (Sengor 1987, Yılmaz ve diğ. 2000, Bozkurt ve Sozbilir 2004). Son 12 milyon yıldır gelişen bu güncel tektonik rejim sürecinde Batı Anadolu'da yerkabuğunda bazen zıt yönde gelişen normal fayların denetlediği çöküntü havzaları (graben) ile onlara eşlik eden sırtlar (horst) oluşmuştur. Basamaklı yapılar şeklindeki bu çöküntü havzalarının yarattığı normal faylar yanı sıra, bu fayları kesen doğrultu atımlı faylar (accommodation fayı) ortaya çıkmıştır. Büyük çaplı bu çöküntü havzalarının sınırlarındaki (örn. Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz havzaları) normal fayların önündeki tavan blokları üzerinde daha küçük boyutta antitetik ve sentetik normal faylar gelişmiştir. Sismolojik ve tektonik bulgular Batı Anadolu'daki çöküntü havzalarını sınırlayan büyük normal fay yapılarının derinlere doğru eğim açılarının azalarak dekolman türü yapılara dönüşebileceğini göstermiştir (Eyidoğan ve Jackson 1985, Emre ve Sozbilir 1995, Bozkurt 2003). Birçok aktif unsuru barındıran bu karmaşık tektonik yapı büyük depremler yanı sıra, bazen küçük ve orta kuvvette çok sayıda depremden oluşan ve deprem fırtınasına dönüşen yoğun deprem etkinlikleri yaratmaktadır (Demirtaş ve diğ. 2002).

Bu makaledeki çalışma alanımız Soma-Akhisar-Gölmarmara (Manisa) ve çevresini kapsamaktadır. Bu alanın ve yakın çevresinin güncel tektonik özelliklerini 150 km uzunluğunda, 3-40 km genişliğinde ve D-B doğrultusunda uzanan Gediz Çöküntü Havzası'nı denetleyen jeolojik ve tektonik oluşumlar belirler (Şekil 1). Gediz Çöküntü Havzası güney tarafı aktif bir normal fayla sınırlanan asimetrik bir havza yapısı sergiler. Havzanın kuzey sınırındaki normal fayların daha az aktif oldukları öne sürülmüştür (Paton 1992, Yusufoglu 1996).



Şekil 1: Batı Anadolu Genişleme Bölgesinde yer alan Akhisar ve çevresindeki genç tektonik yapılar ve diri faylar (Fay bilgileri Emre ve diğ. (2016)'den (Tablo 1) alınmıştır. Tektonik haritadaki yeşil çizgili alan bu çalışmada Akhisar ve çevresinde deprem etkinliğinin incelendiği alanı göstermektedir. Batı Anadolu'nun genel tektonik hatlarını gösteren şekil Bozkurt (2001)'den alınmıştır.)

Bu çalışmanın amacı Soma-Akhisar-Gölmarmara çevresinde son beş yılda farklı konum ve ebatlardaki yoğun deprem etkinliklerinin sismolojik değişkenlerini ve sismotektonik özelliklerini belirlemektir. Bu amaçla, Akhisar ve çevresinde uzun süredir halkı korkutan ve hafif hasarlar yapan dört deprem etkinliğinin bölge tektoniği ile ilişkileri, episantr dağılımlarının ve Gutenberg-Richter değişkenleri olan M_c , a - ve b -değerlerinin (Gutenberg ve Richter 1944) zaman ve mekâna bağlı değişimleri incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

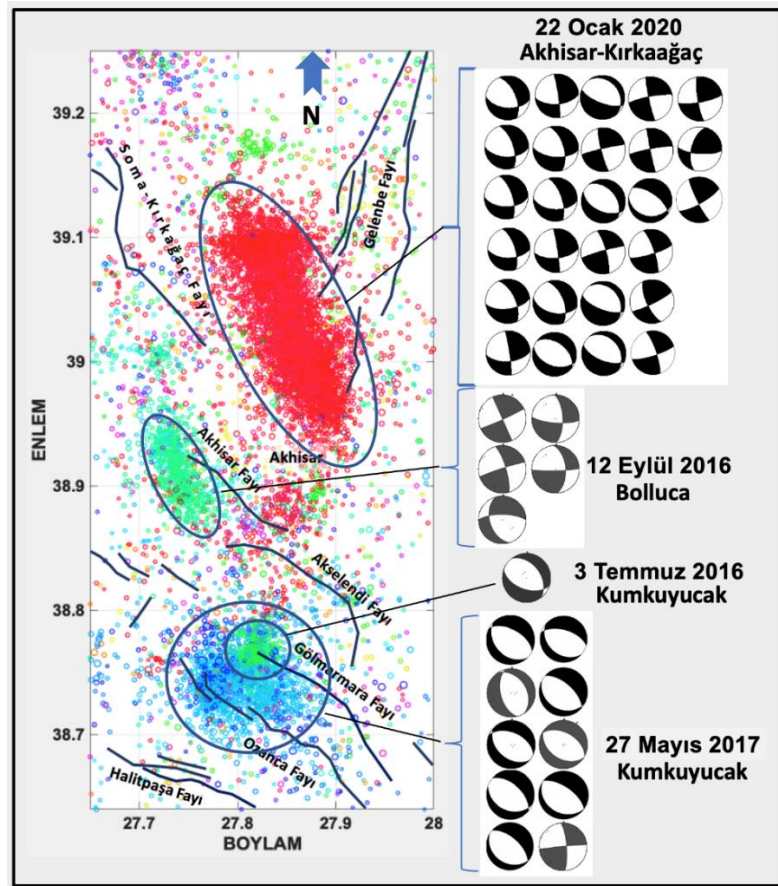
2. SOMA-AKHISAR-GÖLMARMARA ÇEVRESİNİN SİSMOTEKTONİK ÖZELLİKLERİ

Gediz Çöküntü Havzası, çok sayıda fay koluna ayrılan karmaşık bir büyük çöküntü havzasıdır. Havza batıya doğru uzanırken üç kola ayrılır. Bu kollardan Gölmarmara havzasından itibaren kuzey batıya uzanan bölümü Soma'ya doğru 70 km'lik bir genişliğe ulaşır (Şekil 1). Bu geniş havza, Manisa'nın bu bölgesinde çok sayıda saçılmış ve küçük karmaşık havzalar oluşturur. Havzanın kuzeybatı ucu, güneye bakan bir yay biçiminde yerleşen Soma-Kırkağaç Fayı'na bitişir. İnceleme alanındaki depremlerin fay mekanizması çözümleri ve sahada yapılan jeolojik gözlemler sonucunda, güncel tektonik hareketlerin ve diri fayların Kuvaterner döneminde KD-GB yönlü genişleme rejimi tarafından denetlendiği anlaşılmaktadır. MTA tarafından güncellenen Türkiye Diri Fay envanterine göre (Emre ve diğ. 2016) Soma-Akhisar-Gölmarmara çevresinde yer alan diri fayların yaratacağı olası deprem büyüklükleri ve fay uzunlukları ile ilgili bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. İnceleme yaptığımız alanda 2012-2020 yılları

arasında Akhisar ve çevresini etkileyen dört adet belirgin deprem etkinliği oluşmuştur (Şekil 2). Tarihsel sırayla bunlar 3 Temmuz 2016 Kumkuyucak, 12 Eylül 2016 Bolluca, 27 Mayıs 2017 Kumkuyucak ve 22 Ocak 2020 Akhisar-Kırkağaç deprem etkinlikleridir. Bu deprem etkinlikleri içerisinde, M_w 5.4 büyüklüğünde bir deprem ile başlayan 22 Ocak 2020 etkinliği içerdiği kuvvetli deprem sayısı ve süresi bakımından en geniş ve güçlü deprem kümesini oluşturmuştur.

Tablo 1: Akhisar ve çevresindeki alanda yer alan aktif faylar (*Kod: Türkiye Diri Fay Haritası'nda verilen fay kodları (Emre ve diğ. 2016), N: Normal fay, SY: Sağ yönlü doğrultu atımlı fay)

Kod*	Fay Adı	Segment Sayısı	Fay Türü	Büyüklik M_w	Fay Uzunluğu km
27	Soma-Kırkağaç Fay Zonu	3	N	6.5-6.9	17-20-27
28	Gelenbe Fay Zonu	2	SY	6.9	35-36
30-1	Sındırgı Fayı	1	SY	6.9	35
44-12	Halitpaşa Fayı	1	N	6.7	23
44-13	Ozanca Fayı	2	N	6.2-6.7	11-27
44-14	Gölmarmara Fayı	1	N	6.5	18
44-15	Akselendi Fayı	1	N	6.6	19
44-16	Akhisar Fayı	1	N	6.4	12



Şekil 2: 1 Ocak 2014-22 Nisan 2020 gözlem döneminde Soma-Akhisar-Gölmarmara çevresinde belirgin bir şekilde oluşan dört adet kümelenmiş deprem etkinliğine ait dış merkezlerin konumları, bölgedeki diri faylar ve büyüklüğü M_w 4.0 ve daha fazla olan depremlerin fay mekanizması çözümleri (Deprem verileri AFAD (2020b)'dan, diri fay bilgileri Emre ve diğ. (2016)'den alınmıştır.)

2.1) Fay Mekanizması Çözümleri

Deprem etkinliklerini incelediğimiz dönemde büyüklüğü M_w 4.0 ve daha büyük olan bazı depremlerin fay düzlemi çözümleri AFAD tarafından rapor edilmiştir (Tablo 2). 12 Eylül 2016 etkinliği içerisindeki beş depremin doğrultu atım bileşeni baskın oblik faylanma çözümleri verdiği gözlenmiştir. Fay çözümlerindeki KKB-GGD doğrultulu sol yönlü doğrultu atımlı fay hareketi etkinlik alanına uzanan Akhisar Fayı'nın doğrultusuna uymakla birlikte deprem etkinliğinin Akhisar fay hattının batısında uzanması ve faylanma türü, Akhisar Fayı'nın daha önceki yayınlarda (AFAD 2016; 2017) belirtilen, kuzeydoğuya doğru dalan normal fay modeline uymamaktadır.

3 Temmuz 2016 etkinliğinden bir adet, 27 Mayıs 2017 etkinliklerinden on adet deprem için elde edilen fay mekanizması çözümleri başat bir şekilde KB-GD doğrultulu normal faylanma hareketini sergilemektedir. Dairesel bir yayılım gösteren bu deprem etkinliğinin Gölümarmara Fayı ve/veya Ozanca Fayı ile ilişkili olduğu söylenebilir.

22 Ocak 2020 etkinliğindeki yirmi yedi deprem için raporlanan (AFAD 2020b) fay mekanizması çözümlerinden on altı tanesi KB-GD yönlü normal faylanma gösterirken, on bir tanesi aynı doğrultuda doğrultu atımlı faylanma hareketi vermektedir (Şekil 2). Normal fay çözümlerinin doğrultusu ile deprem dış merkezlerinin alansal uzanımı uyumludur ancak fayın hangi eğim yönünde olduğu kesin olarak bilinmemektedir. Irmak ve diğ. (2020)'nin makalelerinde gösterdikleri iç merkez derinlik kesitlerinde deprem etkinliği Gelenbe Fayı ile Soma-Kırkağaç-Akhisar Fayları ile ilişkilendirilmiştir. 22 Ocak 2020 deprem etkinliği sağ yönlü doğrultu atımlı Gelenbe Fayı (Emre ve diğ. 2016) ile normal fay olarak tanımlanan Soma-Kırkağaç Fayı arasındaki bölgede oldukça geniş bir alanı kapsamaktadır. Her iki fayın birbirine yaklaştığı ve Gediz Çöküntü Havzası'nın kuzey uzantısı içerisinde yer alan bu alanda fay mekanizma çözümlerinden elde edilen doğrultu atımlı faylar ve normal faylar birlikteliğinin, buradaki sismotektonik yapının sismolojik tekniklerle daha ayrıntılı incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Daha küçük depremlerin fay mekanizma çözümleri yapılamadığından ve özellikle deprem derinlikleri daha duyarlı belirlenemediğinden bu etkinlik sırasında alandaki antitetik ve sentetik normal fayların hareket ederek deprem fırtınasının daha uzun sürmesine katkı sağlayıp sağlamadıkları konusunda somut bir değerlendirme yapılamamaktadır. AFAD (2020a) raporunda 22 Ocak 2020 etkinliğinin odak mekanizmalarının sol yanal doğrultu atım bileşeni olan normal faylanmayı simgelediği ve tüm etkinlik bir arada değerlendirildiğinde KB-GD uzanımlı $60-70^\circ$ KD'ya eğimli Kırkağaç Fay segmentinin bu etkinliği oluşturabileceği belirtilmiştir. Ancak bu tezin, duyarlı olarak saptanacak deprem derinliklerinin ortaya koyacağı geometriyle test edilmesi gerekmektedir. Irmak ve diğ. (2020) güncelledikleri fay mekanizması çözümleriyle 22 Ocak 2020 deprem kümelenme etkinliğinin gerilme analizini yapmış, asal gerilme eksenlerinin Akhisar çevresinde KD-GB yönünde $R'=0.75$ değeri ile tam açılma (pure extensional) rejiminin etkin olduğunu göstermişlerdir.

Mevcut veri ve bulgulardan hareketle, bu alandaki küçük depremlere ait sismolojik değişkenlerin ve fay mekanizması çözümlerinin daha duyarlı olarak elde edilecek şekilde deprem kayıt ağının geliştirilmesi, böylece bölgedeki Gediz Çöküntü Havzası'nın sınırlarındaki ana faylar yanı sıra antitetik ve sentetik fayların ve bu fayları kesen doğrultu atımlı fayların birbirleri arasındaki kinematik süreçlerin ve ilişkilerin araştırılması önerilir.

Tablo 2: Akhisar ve çevresinde Temmuz 2016-Mayıs 2020 tarihleri arasında olmuş ve büyüklüğü M_w 4.0 ve daha fazla olan depremlerin fay mekanizması çözümleri (AFAD 2020b) (UTC: Evrensel saat, H: İç merkez derinliği, M_w : Moment Büyüklüğü, D, E, K: Derece cinsinden sırasıyla fay düzlemi doğrultusu, eğimi (dalım) ve kayma açısı)

Tarih gg-aa-yyyy	Saat ss-dd (UTC)	Enlem (derece)	Boylam (derece)	H km	M_w	D°	E°	K°
03-07-16	18:05	38.7630	27.8053	10	4.0	322	43	-65
12-09-16	08:26	38.9050	27.7451	18	4.6	336	90	-3
12-09-16	09:29	38.9023	27.7448	17	4.5	343	77	4
09-10-16	06:21	39.0091	27.7260	14	4.0	162	47	-26
15-10-16	02:49	38.9333	27.7200	8	4.1	358	65	-16
15-10-16	02:51	38.9298	27.7166	10	4.2	355	55	-6
27-05-17	15:53	38.7358	27.8156	11	5.1	298	55	-100
28-05-17	02:14	38.7286	27.8005	9	4.4	327	37	-105
28-05-17	02:16	38.7448	27.8465	7	4.0	294	49	-101
28-05-17	02:50	38.7206	27.7910	4	4.6	311	56	-79
28-05-17	02:52	38.7115	27.7956	7	4.8	311	61	-86
28-05-17	04:38	38.7365	27.8060	10	4.5	287	58	-103
28-05-17	07:34	38.7306	27.7743	3	4.1	311	62	-84
28-05-17	08:49	38.7541	27.8043	12	4.1	299	49	-93
28-05-17	11:04	38.7231	27.7921	11	4.8	306	63	-89
19-07-17	04:42	38.7851	27.8233	13	4.0	265	88	168
22-01-20	19:22	39.0488	27.8443	10	5.4	94	53	-141
22-01-20	19:25	39.0723	27.8523	7	4.0	91	53	-149
22-01-20	19:48	39.0763	27.8210	7	4.1	90	54	-151
22-01-20	20:17	39.0641	27.8646	7	4.3	88	57	-152
22-01-20	21:24	39.0513	27.8638	7	4.0	82	62	-148
22-01-20	21:30	39.0475	27.8460	7	4.0	84	62	-175
22-01-20	21:52	39.0715	27.8511	7	4.1	86	66	-173
22-01-20	22:39	39.0250	27.8481	8	4.2	93	60	-146
23-01-20	00:45	39.0390	27.8658	7	4.2	92	52	-149
24-01-20	21:16	39.0540	27.8625	10	4.0	352	86	-28
25-01-20	17:49	39.0293	27.8430	8	4.1	339	58	-50
28-01-20	11:26	39.1001	27.8411	7	4.8	110	46	-102
28-01-20	14:53	39.0831	27.8295	7	4.1	323	25	-60
28-01-20	20:10	39.0131	27.8700	5	4.7	166	82	-5
03-01-20	14:03	39.0980	27.8490	7	4.0	115	51	-107
02-02-20	00:23	39.0065	27.8730	7	4.4	254	85	168
02-02-20	03:25	39.0696	27.8045	7	4.0	111	67	-103
02-02-20	11:36	39.0858	27.8565	7	4.4	112	63	-104
04-02-20	16:47	38.9906	27.8701	7	4.3	168	84	-9
04-02-20	17:55	38.9893	27.8668	9	4.8	259	84	-177
07-02-20	06:31	39.0146	27.8705	10	4.0	305	63	-77
08-02-20	05:39	39.0315	27.8685	7	4.0	73	79	-168
18-02-20	16:09	39.1015	27.8453	15	5.2	341	78	-11
18-02-20	21:23	39.0941	27.8153	14	4.2	63	82	160
23-02-20	12:40	38.9833	27.8846	7	4.5	79	78	170
24-02-20	02:43	38.9796	27.8676	9	4.8	195	59	21
16-04-20	02:49	39.0911	27.8096	7	4.1	153	82	14

3. YÖNTEM

3.1) Deprem Büyüklüklerin Homojenleştirilmesi

Bu çalışmanın başlangıcında 1 Ocak 2012 ve 22 Nisan 2020 tarihleri arasında, 38.64° - 39.25° K enlemleri ile 27.65° - 28.0° D boylamlarının sınırladığı alanda AFAD (2020c) arşivinden büyüklüğü $M \geq 1.0$ olan 10.408 adet deprem seçilmiştir. Seçilen depremler içerisinde en büyük depremin büyüklüğü M_w 5.4 olarak verilmiştir.

Deprem veri setimizde depremlerin çoğunluğu yerel büyüklük M_L olmak üzere, süre (koda) büyüklüğü M_d ve sismik moment büyüklüğü M_w olarak rapor edilmişlerdir. Araştırmanın hedeflediği değişkenlerin hesabında bu farklılığın sapmalara nedeni olabileceği öngörülerek, deprem büyüklüklerinin M_w ölçeğine homojenleştirilmesine karar verilmiştir. Bu amaçla çoğunluğunun büyüklüğü $M_L \leq 3.0$ olan depremlerin M_w 'ye dönüştürülmesi için literatürde küçük depremler için kullanılacak bağıntılar taranmıştır. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş (Grünthal ve diğ. 2009, Goertz-Allmann ve diğ. 2011, Dost ve diğ. 2018) ve veri setimizdeki M_L cinsinden büyüklüklerin M_w 'ye dönüştürülmesi işlemleri için Goertz-Allmann ve diğ. (2011)'nin (1), (2) ve (3) nolu bağıntıları, kodadan hesaplanan M_d türü büyüklükler için ise Bora (2016)'nın (4) nolu bağıntısı kullanılmıştır.

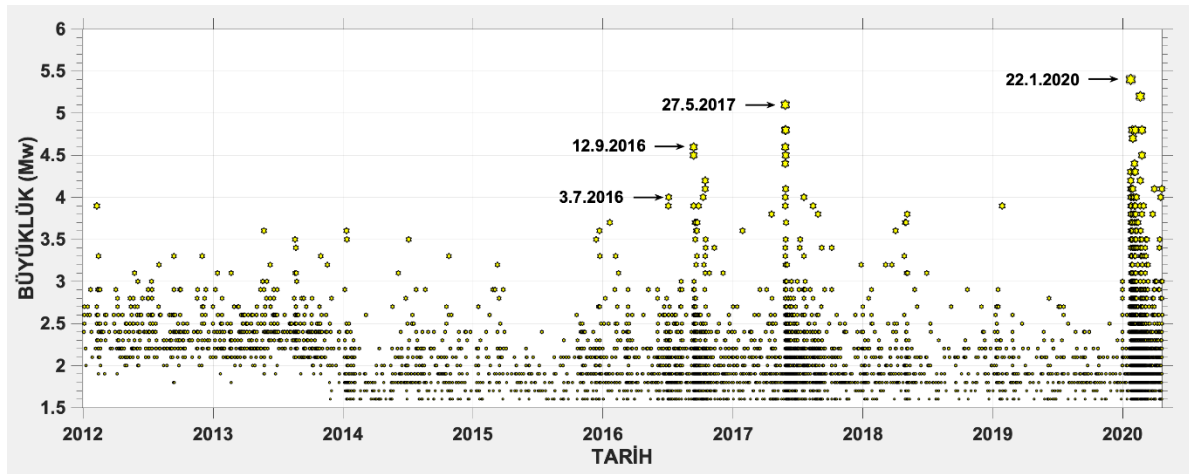
$$M_w = 0.594M_L + 0.985 \quad (M_L < 2.0) \quad (1)$$

$$M_w = 1.327 + 0.253M_L + 0.085 M_L^2 \quad (2.0 \leq M_L \leq 4.0) \quad (2)$$

$$M_w = M_L - 0.3 \quad (M_L > 4.0) \quad (3)$$

$$M_w = 0.93M_d + 0.35 \quad (4)$$

1 Ocak 2012-22 Nisan 2020 tarihleri arasında Akhisar ve çevresinde olmuş depremlerin M_w için homojenleştirilmiş büyüklükleri zamanın fonksiyonu olarak incelendiğinde 2012-2014 yılları arasında büyüklüğü $1.6 \leq M_w \leq 2.0$ arasında olan depremlerin çok azının rapor edilebildiği, bu nedenle bir veri boşluğu ve dolayısıyla tamlik kriterini karşılayamaması durumu olduğundan (Şekil 3), G-R parametre hesaplamasına 2014 yılı sonrası veriler dâhil edilmiştir.

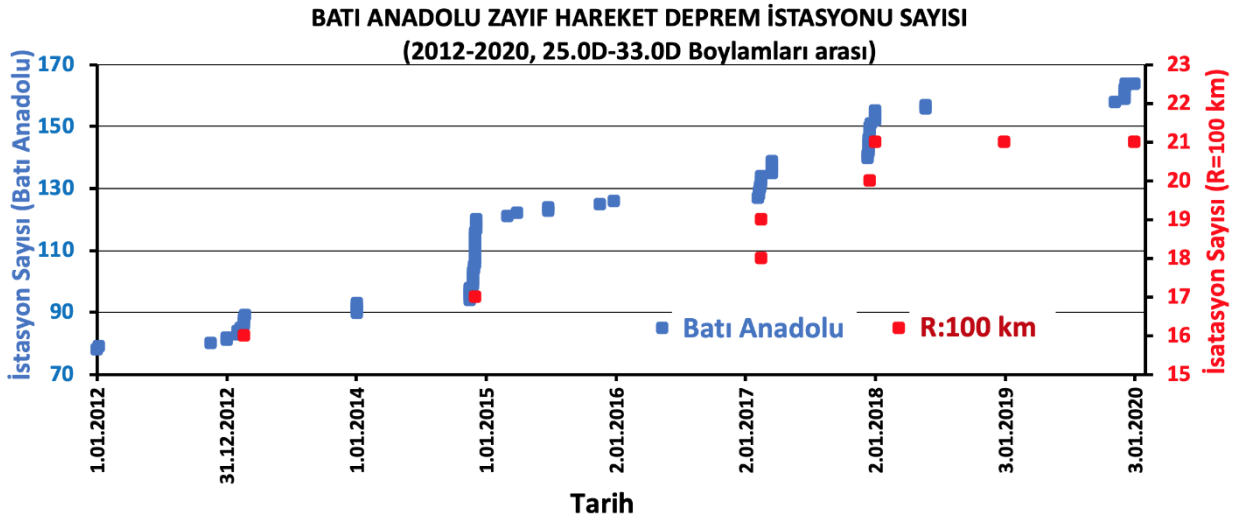


Şekil 3: 1 Ocak 2012-22 Nisan 2020 arasında Akhisar ve çevresinde olmuş deprem etkinliğinin zamana göre büyüklüklerinin dağılımı (Grafikte görüldüğü gibi 2012-2014 yılları arasında büyüklüğü $1.6 \leq M_w \leq 2.0$ arasında olan depremlerin çok azının (16 adet) rapor edilebilmesi nedeniyle veri boşluğu oluşmuştur. G-R parametrelerinin hesaplama işlemleri 2014-2020 tarihleri arasındaki deprem etkinliği için yapılmıştır.)

3.2) Deprem İstasyon Dağılımının Tamlık Analizine Etkisi

Bir bölgenin deprem kimliğinin duyarlı olarak belirlenmesi için her ölçekteki depremleri kaydetme alt yapısının yeterli olması ve yer kabuğu yapısının jeofizik ve jeolojik özelliklerinin de ayrıntılı bilinmesi gerekir. Özellikle insanlar tarafından duyulmayan küçük depremlerin (mikro-deprem veya depremcik) kaydedilmesi için uygun sayıda ve yakın deprem istasyonları konumlandırılmalıdır. Bu kurallar, kaydedilen depremlerin oluş zamanı, enlem, boylam, derinlik, büyüklük ve fay düzlemi çözümleri gibi temel değişkenlerinin duyarlı olarak hesaplanması ve bilimsel araştırmaların sağlıklı sonuçlar vermesi bakımından elzemdir. Bu amaçla Akhisar ve çevresinde deprem kaydeden istasyonların zaman içerisinde sayısal dağılımlarındaki değişimlere dair bilgi edinebilmek için Şekil 4'teki grafik hazırlanmıştır. İnceleme bölgesini içerisine alan Batı Anadolu bölgesinde AFAD (2020d)'a ait 165 adet zayıf hareket (partikül hızı) kaydı yapan deprem istasyonu vardır. 2006 ve 2014 yıllarında Batı Anadolu'da deprem istasyon sayısında önemli artışlar olmuştur. Kasım 2014 tarihinde Batı Anadolu'da mevcuda ek olarak 27 adet yeni deprem istasyonu kurulmuştur. Akhisar merkez olmak üzere 100 km yarıçaplı alan içerisinde ise deprem istasyonu sayısı 2006 yılında 5'den 15'e yükselmiştir. 2014-2020 yılları arasındaki inceleme döneminde 100 km yarıçaplı alanda istasyon sayısı 4 adet artarak sayı 21 olmuştur. Bu durumda deprem derinlikleri dışında sismolojik değişkenlerin zayıf istasyon performansından dolayı olumsuz etkilenme olasılığı azalmış, küçük depremlerin kaydedilme şansı da artmıştır.

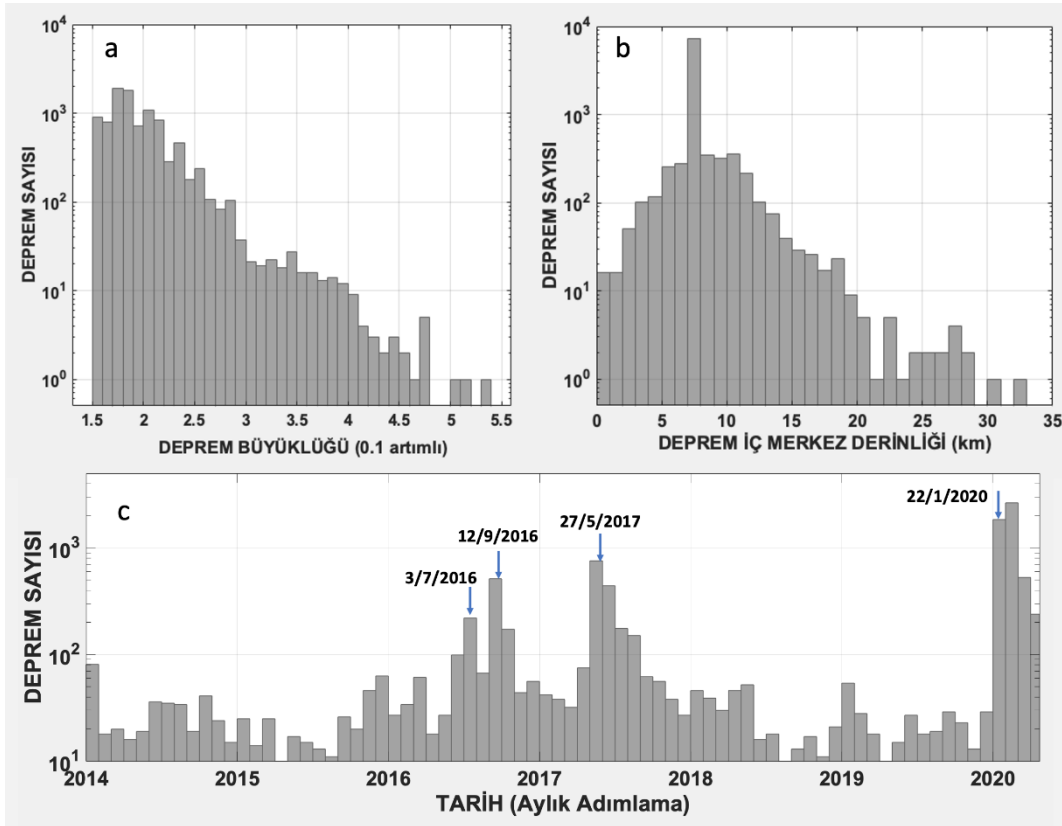
Deprem büyüklüklerinin homojenleştirilmesi ve deprem istasyonlarının deprem kaydetme performansı ile ilgili durum değerlendirildikten sonra bu sismolojik değişkenlerin hesap işlemlerine geçilmiştir. Söz konusu değişkenlerin zaman ve mekân bağımlı değişimlerini elde etmek amacıyla, 1 Ocak 2014-22 Nisan 2020 yılları arasında olmuş ve büyüklükleri M_w 1.6'dan büyük 9.737 adet deprem verisinin analizler için kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 2, Şekil 5).



Şekil 4: Batı Anadolu'da AFAD (2020d) tarafından işletilen istasyonlarının 2012-2020 yılları arasındaki sayısal gelişimi (Mavi renkli kareler tüm batı Anadolu'daki deprem istasyon sayılarını, kırmızı renkli kareler ise Akhisar merkez olmak üzere R:100 km yarıçaplı alandaki deprem istasyon sayılarını gösterir. 2012-2020 yılları arasında 100 km'den yakın kayıt istasyon sayısı 16'dan 21'e yükselmiştir.)

İnceleme alanımızdaki farklı yoğunluklarda dört dönemde yoğunlaşan (Şekil 2, Şekil 5c) deprem etkinliğindeki deprem sayısı ortalama olarak, 3 Temmuz 2016 Kumkuyucak etkinliği 250 depremi, 12 Eylül 2016 Bolluca etkinliği 1.160 depremi, 25 Mayıs 2017 Kumkuyucak etkinliği 2.030 depremi ve 22 Ocak 2020 Akhisar-Kırkağaç etkinliği ise 5.520 depremi kapsamaktadır.

1 Ocak 2014-22 Nisan 2020 tarihleri arasında Akhisar ve çevresinde olmuş depremlerin oluş sayısının büyüklük ve iç merkez derinliğine göre histogramları incelendiğinde (Şekil 5a, b) depremlerin önemli çoğunluğunun sığ ve büyüklüklerinin $1.6 \leq M_w \leq 2.2$ arasında olduğu anlaşılmaktadır. Gözlenen sığ deprem etkinliği beklenildiği gibi bölgenin sismotektonik özelliklerine uygundur. Ancak, alandaki depremlerin iç merkez derinlikleri incelendiğinde toplam 9.737 adet depremden 7.000 civarındaki depremin iç merkez derinlikleri 7 km derinlikte yığılmaktadır (Şekil 5b). Bölgedeki yerkabuğu yapısının ve tektonik hareketinin fiziksel bir özelliği olarak değerlendirilemeyecek bu durum, deprem istasyon sayı ve dağılımının küçük depremler için yetersiz olmasından ve yerkabuğu sismik hız yapısının iyi bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu yetersizlikten dolayı özellikle küçük depremlerin derinlik değerleri algoritma tarafından duyarlı olarak belirlenememekte ve böylece 7 km'lik bir derinlik değerine sabitlenmektedir. Bu sorunları kısmen çözebilecek sismolojik algoritmalar geliştirilmiş olmakla birlikte bu konu, buradaki incelemenin dışında ayrı bir çalışmayı gerektirmektedir. Deprem derinliklerinin duyarlılıkları tatmin edici olmadığından dolayı bu çalışmada yalnızca dış merkez konumları, büyüklük ve G-R değişkenleri kullanılmış, derinlik değerleri sismotektonik analizlere dâhil edilmemişlerdir.



Şekil 5: Manisa ve çevresinde 1 Ocak 2014-22 Nisan 2020 tarihleri arasında olmuş büyüklükleri M_w 1.6-5.4 arasındaki 9.737 depremin, a) deprem büyüklüğü, b) deprem iç merkez derinliği ve c) inceleme döneminde aylık aralıklarla olan deprem sayısı histogramları (Deprem sayılarının daha belirginleşmesi için grafiklerin düşey eksenleri logaritmik ölçekle gösterilmiştir. Deprem sayısı-Tarih histogramı üzerindeki tarihler dört deprem kümesi etkinliğinin başladığı tarihleri işaret eder.)

3.3) Manisa, Akhisar Çevresi Deprem Etkinliklerinin Gutenberg-Richter (G-R) Değişkenlerinin Analiz Yöntemi

Sismoloji külliyyatında, bir alanın depremsellik özelliklerine ve jeolojik yapı-deprem ilişkilerine yönelik incelemelerde Gutenberg-Richter (G-R) ampirik bağıntısı önemli bir yer tutar. Bu bağıntı, bir bölgede oluşan deprem dizisinde tamlik büyüklüğünden (M_c) büyük her bir büyüklük birimi ile o büyüklükteki depremin birikimli (kümülatif) oluş sayısı arasındaki ilişkiyi temsil eder ve $\log_{10} N(M)=a-bM$ şeklinde gösterilir (Gutenberg ve Richter 1944, Mogi 1962). Bu bağıntıdan hesaplanan a- ve b-değişkenlerinin zaman ve mekân içerisindeki özellikleri deprem etkinlik alanındaki birçok jeolojik, tektonik, jeofizik ve sismolojik unsur ile ilişkilidir. Çok genel olarak açıklamak istersek a-değeri deprem bölgesinin deprem etkinlik derecesinin bir göstergesidir. Deprem etkinlik düzeyi yanı sıra gözlem aralığı ve deprem sayısı gibi unsurlar a-değerini etkiler. Matematik olarak G-R bağıntısındaki dağılımın eğimi olan b-değerinin o bölgedeki yer kabuğunda gelişen gerilim (stres) değişimlerinin özelliklerini temsil ettiği söylenebilir. Birbirinden bağımsız deprembilim çalışmalarının bulgularına dayanarak b-değeri “gerilim ölçer” (Wu ve diğ. 2018) olarak nitelendirilmeye başlanmıştır. Sismik b-değerinin, yer içerisindeki fayların ve kırıkların çevresindeki gerilim değişimi, volkanik ve jeotermal kaynak alanlarındaki ısı değişimi, kayalardaki sıvının gözenek basıncı değişimleri ve fay/kırık yoğunluğu dahil yer içerisindeki fiziksel parametrelerdeki değişikliklerden dikkat çekici oranda etkilendiği gözlenmiştir. Bu fiziksel değişikliklerin birbiriyle olan bağlantıları göz önüne alındığında, b-değerinin araştırılması yoğun deprem etkinliklerini harekete geçiren fiziksel süreçleri belirlemede önemli katkılar sağlamaktadır. Ortalama b-değeri dünya için yaklaşık 1.0 olarak kabul edilir ancak farklı sismo-tektonik alanlarda 0.3-2.0 arasında değiştiği gözlenmiştir (Utsu 1971).

G-R bağıntısının temel değişkenleri olan M_c , a- ve b-değerlerinin güvenli olarak elde edilmesi için inceleme bölgesindeki deprem değişkenlerinin (konum, derinlik, büyüklük) en az hatayla hesaplanması en önemli ölçüttür. G-R bağıntısının hesaplanması sürecinde ilk iş inceleme alanındaki deprem büyüklüklerinin homojenleştirilmesini sağlamaktır. Bu aşamadan sonra veri tabanındaki deprem büyüklüklerinin tamlik (completeness) analizi yapılır ve hesaplarda kullanılacak en küçük deprem büyüklüğü sınırı olan M_c belirlenir. M_c değeri ile b-değeri arasında matematiksel olarak özgün bir ilişki vardır. M_c değerinin belirlenmesindeki zayıflıklar a- ve b-değerlerinin hata miktarının artmasına, dolayısıyla incelenen alanın deprem kimliğinin değerlendirilmesinde eksikliklere neden olabilmektedir (Hainzl 2016). Tamlik oranının tüm alan ve gözlem süresi içerisinde %90 ve üstü olması önerilir. M_c büyüklüğü ne kadar küçük depremleri temsil ediyorsa, o bölgede deprem istasyon sayısının ve kayıt performansının o kadar yüksek olduğu kabul edilir. Deprem istasyon performansı iyi olmasına rağmen M_c değerinde önemli değişimler gözleniyorsa bu depremselliğin etkinlik ve suskunluk dönemlerine işaret eden bir bulgu olabilir (Popandopoulos ve diğ. 2016). Bu durum inceleme bölgesindeki depremlerin zaman ve mekândaki özellikleri hakkında önemli ipuçları verir. Bu nedenle M_c , a ve b-değerlerinin bir arada zaman ve mekândaki değişimleri, depremlerle jeolojik hareketlerin ve yapıların özelliklerini anlamının yanı sıra, depremlerin önceden tahmini konusu dahil deprembilimde birçok araştırmaya konu olmuştur (Riviere ve diğ. 2018, Lei ve diğ. 2018).

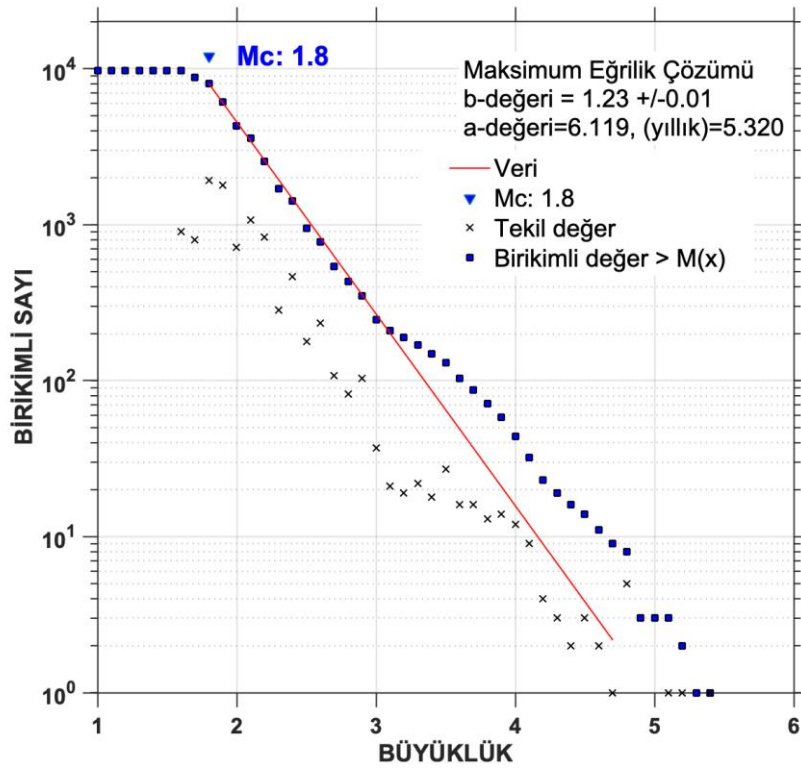
Akhisar ve çevresini kapsayan inceleme alanımızda M_w için homojenleştirilmiş depremlerin zaman ve mekânda M_c , a ve b-değeri analizi, Wiemer (2001) tarafından geliştirilmiş ZMAP yazılımının yeni versiyonu MATLAB R2018b altında çalıştırılan ZMAP7 ile yapılmıştır. M_c değeri, verilen bir deprem büyüklüğü için bulunan birikimli deprem sayısının o büyüklük dağılımının oluşturduğu fonksiyonundan maksimum eğri çözümü (maximum curvature) yöntemi ile hesaplanmıştır (Wiemer ve Wyss 2000). b-değerini duyarlı olarak elde etmek için maksimum olasılık yöntemi (Aki 1965, Shi ve Bolt 1982) kullanılmıştır.

4. BULGULAR

4.1) M_c , a- ve b-değerleri Bulguları

Bu işlemle elde edilen optimum M_c ile hata değeri en aza indirilmiş a- ve b-değerleri saptanmıştır. Kullanılan algoritmayla M_c , a ve b-değerleri burada hem mekân hem de zaman boyutunda incelenmiştir. M_c ve b-değeri hesabında grid aralıkları, her grid noktasında hareket edecek mekân penceresinin büyüklüğü ve her pencere alanına düşen en az (veya en fazla) deprem sayısı için çeşitli değerler denenmiş ve en az standart sapmayı temsil eden kıstaslar belirlenmiştir. Farklı ölçütler için elde edilen sonuçlar çok farklı olmamakla birlikte çalışma alanında grid aralığı 0.7 km x 0.7 km, pencere içerisine düşen minimum deprem sayısı 50, kayan pencere için yarıçap 7.0 km, değişken pencere için en yakın olay sayısı 150 olarak kabul edilmiştir. Tüm inceleme alanında en uygun M_c değeri $M_c:1.8$ olarak saptanmıştır. 2012-2020 tarihleri arasında Akhisar ve çevresini temsil eden en optimal M_c değeri için G-R bağıntısı (5) hesaplanmıştır (Şekil 6).

$$\text{Log}_{10} N(M_w) = 6.12 - 1.23M_w \quad (5)$$

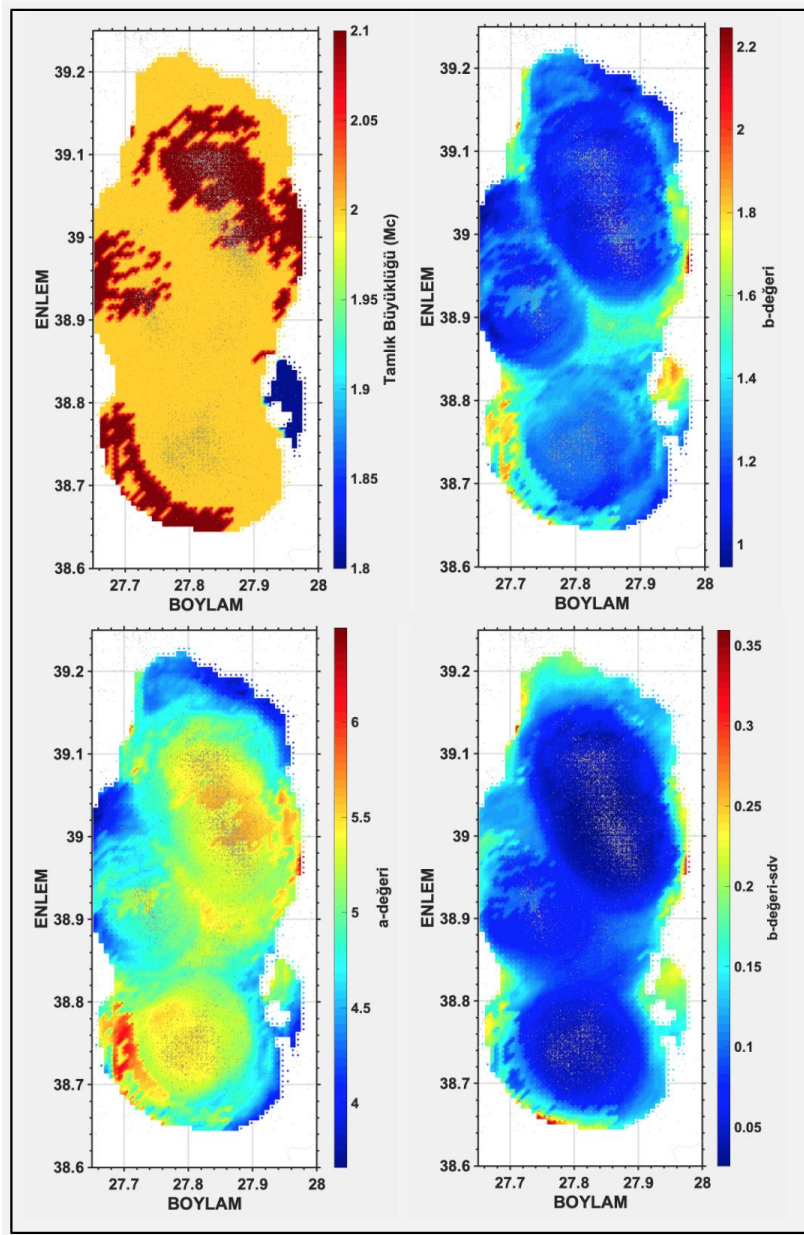


Şekil 6: Akhisar ve çevresinin 2014-2020 tarihleri arasındaki deprem etkinliğine ait G-R grafiği

4.1.1) G-R Değişkenlerinin Mekânsal Dağılım Özellikleri

M_c , a- ve b-değerleri için elde edilen değerlerin alansal dağılımı Şekil 7'de verilen haritalarda gösterilmiştir. Bölgede deprem yoğunlaşma alanlarında M_c büyüklüğünün 2.0-2.1 civarında kaldığı, b-değerinin 1.0-1.3 değerlerinde ve a-değerinin 4.0 ile 5.7 arasında değiştiği gözlenmiştir (Şekil 7). 2014-2020 tarihleri arasında gözlem bölgesindeki 3 Temmuz 2016, 12 Eylül 2016, 25 Mayıs 2017 ve 22 Ocak 2020 tarihlerindeki her dört etkinlik kümesi için (Şekil

5) ayrı ayrı hesaplanmıştır; bu etkinlikler için b -değerleri sırasıyla 1.48, 1.25, 1.26 ve 1.18 bulunmuştur. Her dört deprem etkinliğinde hesaplanan M_c değeri 1.8 olmuştur. 2014-2020 döneminde tüm bölgedeki en olası ortalama b -değeri 1.23 ± 0.01 olarak saptanmıştır. b -değerinin standart sapmasının (sdv) deprem fırtınasının yoğunlaştığı alanlarda 0.05 değerinin altına düşmesi (Şekil 7), bu alanlardaki b -değerinin duyarlı olarak tespit edildiğinin kanıtıdır. İnceleme alanı sınırlarında b -değeri ve standart sapmasının yükselmesi hesaba katılan deprem sayısının yetersizliğinden kaynaklanan bir sonuç olarak değerlendirilebilir. Benzer şekilde, deprem etkinliğinin azaldığı alanlarda a -değeri düşmektedir. 27 Mayıs 2017 ve 22 Ocak 2020 deprem fırtına alanlarında, depremlerin en yoğun olduğu yerlerde b -değerinin en düşük standart sapmalar göstermesi M_c değerinin tamlığı ve birim alana düşen deprem sayısının artışıyla ilgili olduğu söylenebilir.



Şekil 7: Akhisar ve çevresinde büyüklüğü $1.8 \leq M_w \leq 5.4$ büyüklüğündeki depremlerin oluşturduğu deprem kümelerinin M_c tamlık büyüklüğü değeri, b -değeri, a -değeri ve b -değerinin standart sapması (sdv) değerlerinin mekânsal dağılımı

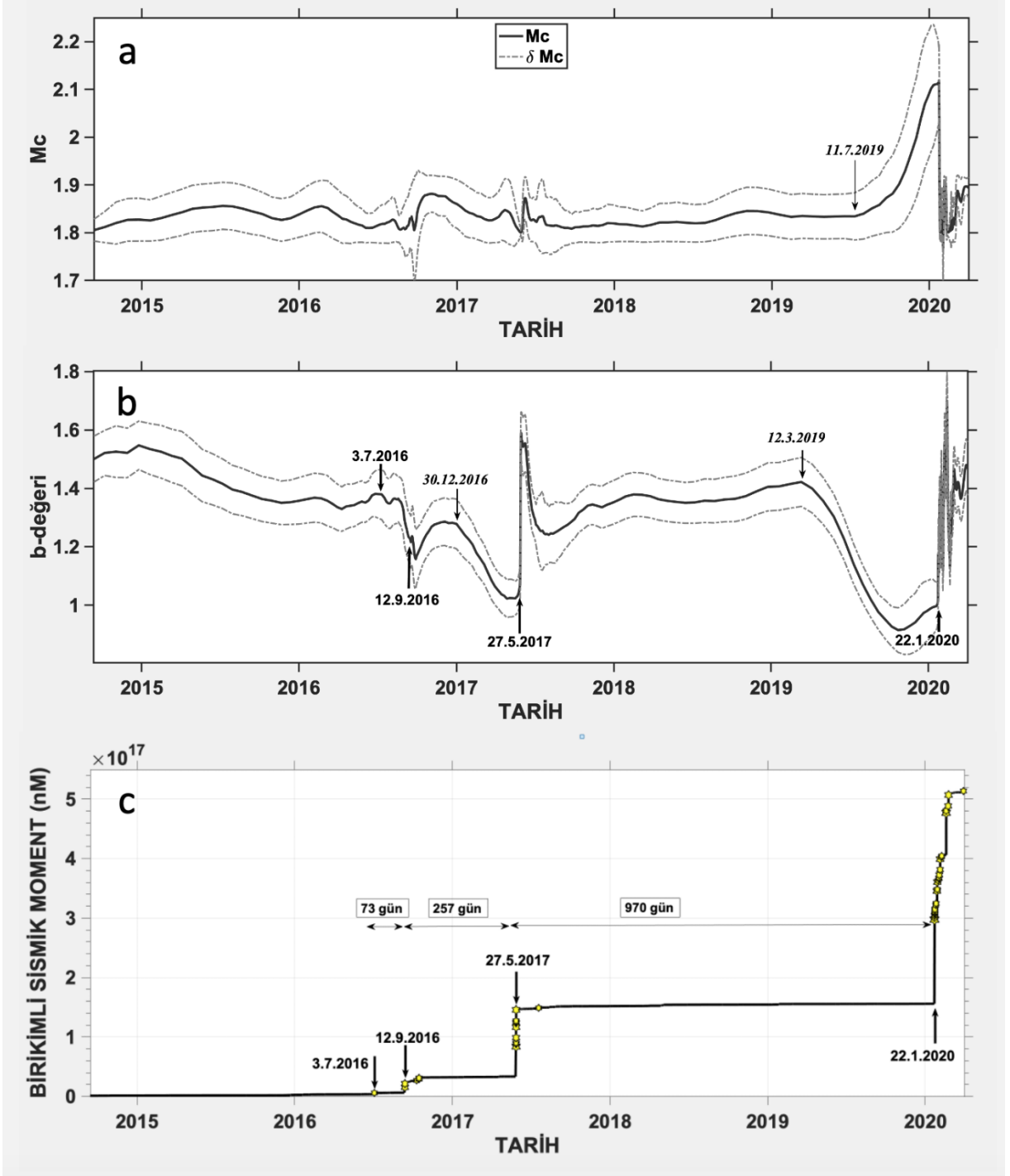
4.1.2) G-R Değişkenlerinin Zamana Göre Dağılım Özellikleri

2014-2020 yılları arasında dört farklı deprem etkinliğinin zamana bağlı olarak Mc değerleri, b-değerleri, sismik moment enerji değerleri ve etkinlikler arasındaki sürelerle ilgili dikkate değer değişimler ve ilişkiler gözlenmektedir (Şekil 8).

3 Temmuz 2016, 12 Eylül 2016 ve 27 Mayıs 2017 deprem etkinlikleri Mc'nin değerlerini az etkilemiş ve Mc değeri 1.8 ile 1.9 arasında seyretmiştir. Ancak, 22 Ocak 2020 Akhisar-Karakurt deprem etkinliği başlamadan 195 gün önce, 11 Temmuz 2019'da Mc bir artış rejimi sergilemeye başlamış ve dikkat çekici bir anomali yaratmıştır (Şekil 8a). Bu artış 22 Ocak 2020 M_w 5.4 büyüklüklü depreminin oluşuna kadar muntazam bir şekilde sürmüştür. Mc değeri her dört deprem etkinliği için ortalama 1.8 olarak bulunurken, 22 Ocak 2020 depremi öncesi 1.85 değerinden 2.1 değerine kadar yükselmiştir (Şekil 8a). Bunun nedeni o süre içerisinde büyüklüğü M_w 2.0'den küçük depremlerin sayısındaki azalma olabilir.

Akhisar ve çevresi deprem etkinliklerinin b-değerlerinin zamanla değişimi dikkat çekici örüntüler ortaya çıkarmıştır. Ocak 2014 tarihinde b-değeri 1.5 civarından Temmuz 2016'da 1.35 değerine inmiştir. 3 Temmuz 2016, 12 Eylül 2016, 27 Mayıs 2017 ve 22 Ocak 2020 etkinliklerinde değişen derecelerde b-değerinde düşüş anomalileri oluşmuştur (Şekil 8b). 3 Temmuz 2016'daki deprem etkinliği ile b-değeri etkileşimi belirgin bir anomali göstermemektedir. 12 Eylül 2016 etkinliği öncesi b-değeri hafif bir düşüş sergilemiş, etkinlik başladıktan sonra düşüş sürmüştür ve sonra yükselmiştir. Bu yükselme sürerken 30 Aralık 2016'da b-değeri 1.25 düzeyinden düşmeye başlamış ve bu düşüş 148 gün sonra 1.0 değerine kadar azalmıştır. Bu azalmayı takiben 27 Mayıs 2017 tarihinde yoğun bir deprem etkinliği başlamıştır (Şekil 8b). Bu deprem etkinliğinin ilk günlerinde b-değeri 1.6 değerine kadar ulaşmış, Temmuz 2016 sonuna doğru 1.25 değerine inmiştir. 22 Ocak 2020'de Akhisar çevresinde başlayan ve oldukça uzun süren deprem etkinliğinin öncesinde b-değerinin muntazam ve belirgin bir şekilde sergilediği düşüş anomalisi oldukça ilginçtir. Bu etkinlikten 316 gün önce, 12 Mart 2019'dan itibaren b-değeri 1.4 düzeyinden düşmeye başlamıştır. b-değeri 29 Ekim 2019 tarihine kadar muntazam bir şekilde 0.9 düzeyine kadar inmiştir. Bu minimum değerden sonra b-değerinde tekrar hafif bir artış başlamış, 22 Ocak 2020'de 5.4 büyüklüğünde bir depremin arkasından aylarca süren bir deprem etkinliği oluşmuştur (Şekil 3, Şekil 8b). Bu deprem etkinliği sırasında b-değeri 1.1 ile 1.8 değerleri arasında kuvvetli değişimler yapmış ve deprem etkinliği geniş bir alana yayılmıştır (Şekil 3). Bu dört önemli etkinlik sırasında salınan sismik enerjinin düzeyi ve belirginliğini değerlendirmek ve b-değeri değişimleri ile karşılaştırmak için birikimli moment değerlerinin zamanla değişimi ayrıca grafiklenmiş ve yorumlanmıştır (Şekil 8c).

3 Temmuz 2016 ile 22 Nisan 2020 tarihleri arasındaki incelediğimiz dört deprem etkinliği ile ilişkili dört tane sismik enerji artış dönemi dikkat çekmektedir. Birincisi olan 3 Temmuz 2016'da oluşan etkinlik sırasında (Şekil 3) toplam $0.22E+16$ nM değerinde sismik enerji salınmıştır (Şekil 8c). Bu etkinlikten 73 gün sonra ikinci etkinlik dönemi 12 Eylül 2016'da başlamış ve $2.5E+16$ nM değerine ulaşan sismik enerji açığa çıkmıştır. Üçüncü etkinlik ise 257 gün sonra 27 Mayıs 2017 tarihinde başlamış ve $11.1E+16$ nM değerine ulaşan sismik enerji kısa bir sürede salınmıştır. Dördüncü ve en uzun süren deprem etkinliği ise 27 Mayıs 2017 etkinliğinden 970 gün sonra 22 Ocak 2020'de başlamış ve çok sayıda kuvvetli depremler içeren yoğun bir deprem etkinliğine dönüşmüştür. 22 Ocak 2020 de başlayan bu etkinlik, 22 Nisan 2020 tarihine kadar $36.0E+16$ nM düzeyinde sismik enerjiyi açığa çıkarmıştır (Şekil 8c).



Şekil 8: Akhisar ve çevresi deprem etkinliğinde kaydedilen dört deprem kümesinin (a) Mc değerinin zamanla değişim grafiği (22 Ocak 2020 deprem etkinliğinin öncesi 11 Temmuz 2019'da başlayan Mc değer artışı okla işaretlenmiştir. Noktalı eğri standart sapma değerleridir.), (b) b-değerinin zamanla değişim grafiği (Dört farklı deprem etkinliğinin başladığı tarihler normal karakter ile, b-değerinin düşüşe başladığı tarihler ise italik karakter ile işaretlenmiştir.), (c) Birikimli sismik moment değerlerinin zamanla değişim grafiği (Birikimli sismik moment grafiğindeki yıldızlar büyüklüğü $M_w \geq 4$ olan depremleri işaret eder. Yatay oklarla işaretlenen zaman aralıkları 3 Temmuz 2016 etkinliği dahil izleyen diğer deprem etkinliklerinden sonra sismik etkinliğin sakin olduğu gün sayısını göstermektedir.)

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Tektonik genişleme hareketlerinin ve çöküntü havzası gelişiminin etkin bir şekilde sürdüğü Soma-Akhisar-Gölmarmara bölgesinde 2014-2020 tarihleri arasında oluşan dört deprem kümesinin zaman ve mekânda sismolojik değişkenleri, fay mekanizması çözümleri ve Gutenberg-Richter değişkenleri olan M_c , a- ve b-değerleri incelenmiştir. Dört farklı zamanda olan deprem kümelerinin genelde normal fay mekanizmasının baskın olduğu görülmektedir. Ozanca Fayı ile Gölmarmara Fayı arasında kalan 3 Temmuz 2016 ve 27 Mayıs 2017 Kumkuyucak etkinliklerinde çözümlü yapılan fay mekanizmaları her iki fayın doğrultusu ve fay türü ile uyumludur. Ancak depremlerin duyarlı olmayan derinlik bilgilerini kullanamadığımızdan bu faylardan hangisinin harekete geçtiği konusunda değerlendirme yapılamamıştır.

12 Eylül 2016 Bolluca etkinliği normal fay bileşeni olan doğrultu atımlı bir fay hareketini temsil etmektedir. Fay mekanizması çözümleri konumları göz önüne alındığında Akhisar Fayı için önerilen kuzeydoğu yöndeki eğimine (AFAD 2016; 2017) uyumlu değildir.

22 Ocak 2020'de M_w 5.4 büyüklüğünde bir depremle başlayan Akhisar-Kırkağaç etkinliği geniş bir alanı kaplamış ve uzun sürmüştür. Normal fay sınıfındaki Soma-Kırkağaç Fayı'nın doğusunda uzanan ve sağ yönlü doğrultu atımlı Gelenbe Fayı'nın güney ucunda bulunan bu deprem etkinliğinin çözümlerinin içerisinde normal fay çözümleri yanı sıra çok sayıda doğrultu atımlı fay çözümleri elde edilmiştir.

Dört deprem kümesinin değerlendirilmesi aşamalarında derinlik değerlerinin duyarlı olarak hesaplanmaması nedeniyle depremlerin derinlik dağılımlarına bağlı örüntüler ve değişkenler kullanılamamıştır. Bu çalışmada kullanılan deprem konum hesaplarının gelişmiş konumlama yöntemleriyle yeniden yapılması ve faylarla ilişkilerinin ondan sonra değerlendirilmesini önermekteyiz.

İncelediğimiz dört deprem kümesinin süre ve sismik enerji değeri bakımından daha büyük olan 27 Mayıs 2017 ve 22 Ocak 2020 depremleri kümelerinin, etkinlik başlamadan önce çok belirgin b-değeri düşümü anomalileri yarattıkları saptanmıştır. 27 Mayıs 2017 etkinliğinin b-değeri düşüşü etkinlikten 148 gün önce başlamıştır. 22 Ocak 2020 deprem etkinliği öncesi ise çok daha belirgin olarak b-değeri düşüşü anomalisi olduğu gözlenmiştir. M_w 5.4 büyüklüğündeki Akhisar-Kırkağaç depremi öncesi b-değerinde başlayan düşüş trendi 316 gün sürmüştür. Her iki deprem için b-değeri düşüş örüntülerinin veri analizinde uygulanan çeşitli grid aralığı ve veri pencerelerinden önemli derece etkilenmediği ve genel düşüş karakterini koruduğu gözlenmiştir.

1970'li yıllardan bu yana deprebilimciler yaptıkları araştırmalarda b-değerinin büyük depremler öncesinde azaldığına dair önemli bulgular elde etmişlerdir. Bu konuda tartışmalar halen sürmekle birlikte (Kamer ve Hiemer 2015), bu düşüş anomalilerin önemli deprem etkinliklerini önceden uyarma ve haber verme konusunda umut verdiği söylenebilir.

Laboratuvar deneylerinde kaya örneklerine uygulanan gerilim değeri arttıkça b-değerinin belirgin bir biçimde düştüğüne dair çok sayıda gözlem vardır (Mogi 1962, Scholz 1968, Main ve diğ. 1989, Sammonds ve diğ. 1992, Amitrano ve diğ. 2005, Goebel ve diğ. 2013, Riviere ve diğ. 2018, Lei ve diğ. 2018). Schorlemmer ve diğ. (2005) b-değerinin fay üzerinde biriken gerilim (stres) ile ters ilişkili olduğunu ileri sürmüştür. Bunun anlamı, ana kırılma gerçekleşmeden önce gerilimdeki artışın b-değerinde düşüşe neden olduğu, depremden sonra azalan gerilim nedeniyle b-değerinin yükseleceğidir.

Gulia ve Wiemer (2016, 2019) b-değeri düşüş örneklerinin depremlerle ilgili olanlarını 6.6 büyüklüğündeki 2016 Norcia (İtalya) (Pino ve diğ. 2019) depremi için ve Kato ve diğ. (2016) 7.0 büyüklüğündeki 2016 Kumamoto (Japonya) depremleri için göstermişlerdir. Nuannin

(2006) İsviçre'nin Zinkruvan madeninde sekiz yıllık gözlemler sonucu rockburst (kaya patlaması) öncesi b-değerinde belirgin biçimde düşüş anomalileri sergilediğini ortaya koymuştur. Çeşitli tektonik ortamlarda yapılan araştırmalarda, b-değerinin ortamdaki gerilimin durumuna bağlı ters orantılılık kuralına uyduğu görülmüştür (Wang 1988, Enescu ve Ito 2003, Helmetter ve diğ. 2003, Schorlemmer ve diğ. 2005, Nanjo ve diğ. 2012, Xie ve diğ. 2019). Nuannin (2006) 1995-2004 yılları arasında Andaman-Sumatra bölgesinde b-değeri haritalarından büyük depremlerin düşük b-değeri alanlarında, yani yüksek gerilim alanlarında olduğunu göstermiştir. ABD Denver'de derinlere atık su depolama alanında yapılan sismolojik incelemelerde tetiklenmiş depremler yüksek kayma gerilimi nedeniyle düşük b-değerleri ve yüksek sismik moment değişimleri göstermiştir (Evans 1966, Wyss 1973, Shibutani ve diğ. 2002, Enescu ve Ito 2003) Japonya Tottori depreminden önce, 1989-1997 yılları arasında oluşan deprem fırtınalarının b-değerinin ortalama 0.6 olduğunu, depremden sonraki deprem etkinliğinin b-değerinin 1.3-1.4 düzeyine yükseldiğini göstermişlerdir. Wiemer ve Wyss (2002) fayların hareketlerine direnç ve engellerin (asperity) olduğu yerlerde b-değerinin düştüğünü belirtmişlerdir.

Gediz Çöküntü Havzası'nın kuzey kolu içerisine yerleşmiş Soma-Akhisar-Gölmarmara havzasında oluşan özellikle 27 Mayıs 2017 Kumkuyucak ve 22 Ocak 2020 Akhisar-Kırkağaç etkinliklerindeki b-değerinin düşüş nedeni olarak etkinlik öncesi bölgedeki normal fayların üzerindeki etkin gerilimin artması ve fayların harekete geçmeye hazırlanması süreci olduğu önerilebilir. İncelediğimiz dört saha örneğinden ikisinde çok belirgin olan bu b-değeri düşüş anomalisinden hareketle, batı Anadolu'nun diğer yerlerinde yaygın olarak görülen kümelenme şeklindeki deprem etkinlikleri yanı sıra Türkiye'nin diğer bölgelerindeki deprem etkinliklerinin de bu bağlamda izlenmesi ve değerlendirilmesi deprembilimde değerli sonuçlar üretebilir.

Depremselliğin mekânda ve zamanda b-değerine bağımlılık özelliğinden hareketle birçok sismolog deprem tehlikesinin belirlenmesinde ve daha önceden haber verilmesinde b-değerinin önemli bir araç olabileceği konusunda ümitlidir. Depremlerin gelişmiş sismik ağlarla izlenmesi gerçekleştiğinde, sismolojik değişkenlerin zaman ve mekânda incelenmesini sağlayacak veri kalitesi yükseldikçe ve yeni yöntemlerle inceleme olanakları artınca deprem tehlike uyarılarında başarı umudumuz daha da artacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazar, deprem verilerini ve raporlarını kullanıma açtıkları için KRDAE ve AFAD kurumlarına, makalenin düzeltme aşamasındaki katkılarından dolayı hakemlere ve Editör'e teşekkür eder.

KAYNAKLAR

AFAD, 2016. 12.09.2016 Akhisar Manisa depremi raporu, Basına ve Kamuoyuna (Ön bilgi formu), 6 sayfa.

Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=446>

AFAD, 2017. 27.05.2017 Saruhanlı- Manisa Depremi, Basına ve Kamuoyuna (Ön bilgi formu), 6 sayfa.

Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=1533>

AFAD, 2019. 20 Mart 2019 Acıpayam (Denizli) depremi (M_w 5.5) değerlendirme raporu, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Araştırma Dairesi, 17 sayfa.

Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=1670>

AFAD, 2020a. 22 Ocak 2020 Akhisar (Manisa) depremi (M_w 5.4) ön değerlendirme raporu, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Araştırma Dairesi, 10 sayfa.

Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=1824>

AFAD, 2020b. Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/faycozumleri>

AFAD, 2020c. Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/ddakatalogu>

AFAD, 2020d. erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/istasyonlar>

Aki K., 1965. Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log(N)=a-bM$ and its confidence limits, *Bull Earthq. Res. Int. Tokyo Univ.* 43, 237-239.

Amitrano D., Grasso J. R., Senfaute G., 2005. Seismic precursory patterns before a cliff collapse and critical point phenomena, *Geophysical Research Letters* 32(8),1-5, doi.org/10.1029/2004GL022270

Bora D.K., 2016. Scaling relations of moment magnitude, local magnitude, and duration magnitude for earthquakes originated in northeast India, *Earthq. Sci.* 29(3),153-164.

Bozkurt E., 2001. Neotectonics of Turkey - a synthesis, *Geodinamica Acta* 14, 3-30.

Bozkurt E., 2003. Origin of NE-trending basins in western Turkey, *Geodinamica Acta* 16, 61-81.

Bozkurt E., Sozibilir H., 2004. Tectonic evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two-stage extension in western Turkey, *Geol. Mag.* 141(1), 63-79.

Demirtaş R., Tepeuğur E., Eravcı B., Yaman M., Yanık K., 2002. 1965 Salihli, 2000 Denizli ve 1999-2001 Savaştepe (Balıkesir) deprem dizileri, deprem fırtınası mı? 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri.

Demirtaş R., 2020. 22 Ocak 2020- Günümüz Akhisar-Kırkağaç (Manisa) Depremleri (Mw 5.4) Deprem Fırtınası mı? Kırkağaç-Soma Fayı, Gelenbe Fayı ve Akhisar Fayı'ndan mı kaynaklanıyor? ResearchGate.net, doi.org/10.13140/RG.2.2.23968.53767

Dost B., Edwards B. Bommer J.J., 2018. The relationship between M and ML - a review and application to induced seismicity in the Groningen gas field, the Netherlands, *Seismol. Res. Lett.* 89(3), 1062-1074.

Emre O., Duman T.Y., Ozalp S., Saroglu F., Olgun S., Elmaci H., Can T., 2016. Active fault database of Turkey, *Bulletin of Earthquake Engineering* 16, 3229-3275.

Emre T., Sozibilir H., 1995. Field evidence for metamorphic core complex, detachment faulting and accommodation faults in the Gediz and Büyük Menderes grabens, western Anatolia. In: Piskin O., Ergün, M. Savascin, M.Y. and Tarcan G. (eds), *Proceedings of International Earth Science Colloquium on the Aegean Region* 1, 73-93.

Enescu B., Ito K., 2003. Values of b and p: their Variations and Relation to Physical Processes for Earthquakes in Japan, *Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.* No.46 B.

Evans M.D., 1966. Man-made earthquakes in Denver, *Geotimes* 10, 11-18.

Eyidogan H., Jackson J., 1985. A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969-70 in western Turkey: Implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust, *Geophysical Journal International* 81(3), 569-607.

Eyidoğan H., 2020. Akhisar-Kırkağaç (Manisa) deprem fırtınasının özellikleri, *Bilim ve Gelecek*, Mayıs 2020.

Erişim adresi: <https://bilimvegelecek.com.tr/index.php/2020/05/01/akhisar-kirkagac-manisa-deprem-firtinasinin-ozellikleri>

Fischer T., Horalek J., Michalek J., Bouskova A., 2010. The 2008 West Bohemia earthquake swarm in the light of the WEBNET network, *Journal of Seismology* 14(4), 665-682.

Goebel T.H.W., Schorlemmer D., Becker T.W., Dresen G., Sammis C.G., 2013. Acoustic emissions document stress changes over many seismic cycles in stick-slip experiments, *Geophysical Research Letters* 40(10), 2049-2054.

Goertz-Allmann B.P., Goertz A., Wiemer S., 2011. Stress drop variations of induced earthquakes at the Basel geothermal site, *Geophysical Research Letters* 38(9), L09308, 1-5.

Grünthal G., Wahlström R., Stromeyer D., 2009. The unified catalogue of earthquakes in central, northern, and northwestern Europe (CENEC), *Journal of Seismology* 13, 613-632.

Gulia L., Wiemer S., 2016. Short-term earthquake risk assessment considering time-dependent b-values, *Geophysical Research Letters* 43(3), 1100-1108.

Gulia L., Wiemer S., 2019. Real-time discrimination of earthquake foreshocks and aftershocks, *Nature* 574 (7777), 193-199.

Gutenberg R., Richter C.F., 1944. Frequency of earthquakes in California, *Bulletin of the Seismological Society of America* 34, 185-188.

Hainzl S., Ogata Y., 2005. Detecting fluid signals in seismicity data through statistical earthquake modeling, *J. Geophys. Res.* 110, B05S07.

Hainzl S., 2016. Rate-Dependent incompleteness of earthquake catalogs, *Seismol. Res. Lett.* 87, 2A, 337-344.

Heinicke J., Woith H., Alexandrakis C., Buske S., Telesca L., 2018. Can hydroseismicity explain recurring earthquake swarms in NW-Bohemia?, *Geophysical Journal International* 212(1), 211-228.

Helmstetter A., Sornette D., Grasso J.R., 2003. Mainshocks are aftershocks of conditional foreshocks: How do foreshock statistical properties emerge from aftershock laws, *J. Geophys. Res. Solid Earth*. 108(B1).

Hicks S.P., Verdon J., Baptie B., Luckett R., Mildon Z.K., Gernon T., 2019. A shallow earthquake swarm close to hydrocarbon activities: discriminating between natural and induced causes for the 2018-2019, Surrey, United Kingdom, Earthquake Sequence, *Seismol. Res. Lett.* 90(6), 2095-2110.

Hill D.P., 1977. A model for earthquake swarms, *J. Geophys. Res.* 82(8), 1347-1352.

Irmak T.S., Dogan B., Yavuz E., Livaoglu H., Sertcelik F., 2020. Focal mechanisms of the January 22, 2020 Akhisar-Manisa earthquake (Mw5.5) and its aftershocks: seismotectonic implications, *Turk. J. Earthq. Res.* 2 (1), 27-46.

Ishida M., 1984. Spatial-temporal variation of seismicity and spectrum of the 1980 earthquake swarm near the Izu Peninsula, Japan, *Bull. Seis.Soc.of America*. 74(1), 199-221.

Jacobs K., McNutt S.R., 2010. Using seismic b-values to interpret seismicity rates and physical processes during the preeruptive earthquake swarm at Augustine Volcano 2005-2006, (in: The 2006 Eruption of Augustine Volcano, Alaska, Edited by Power J.A., Coombs M.L., Freymueller J.T., U.S. Geological Survey Professional Paper, 1769), 60-75.

Kamer Y., Hiemer S., 2015. Data- driven spatial b value estimation with applications to California seismicity: To b or not to b, *J. Geophys. Res. Solid Earth* 120, 5191-5214.

Kato A., Fukuda J.I., Nakagawa S., Obara K., 2016. Foreshock migration preceding the 2016 $M_w7.0$ Kumamoto earthquake, Japan, *Geophysical Research Letters*. 43(17), 8945-8953.

Ketin İ., 1969. Türkiye'nin genel tektonik durumu ile başlıca deprem bölgeleri arasındaki ilişkiler, İ.T.Ü. Maden Fakültesi.

KRDAE, 2014. 2-4 Ağustos 2014 Termal-Yalova deprem etkinliği hakkında (Basın Duyurusu), B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, UDİM, 4 sayfa.

Erişim adresi:

http://udim.koeri.boun.edu.tr/Depremler/onemliler/04082014_0122TSI_Termal_YalovaDepremi_Hakkinda.pdf

KRDAE, 2020. Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, Basın Bültenleri.

Erişim adresi: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/onemli-depremler>

Lei X., Wang Z., Su J., 2018. The December 2018 $M_L5.7$ and January 2019 $M_L5.3$ earthquakes in South Sichuan Basin induced by shale gas hydraulic fracturing, *Seismol. Res. Lett.* 90(3), 1099-1110.

Main I., Meredith P., Jones C., 1989. A reinterpretation of the precursory seismic b-value anomaly from fracture mechanics, *Geophysical Journal International* 96(1), 131-138.

MATLAB, 2018. MathWorks.

Erişim adresi: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

McKenzie D.P., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 55, 217-254.

Mogi K., 1962. Magnitude-frequency relationship for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes, *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo*, 40, 831-883.

Mogi K., 1963. Some discussion on aftershocks, foreshocks and earthquake swarms-the fracture of a semi- infinitebody caused by an inner stress origin and its relation to the earthquake phenomena (3rd Paper), *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo* 41, 615-658.

Nanjo K., Hirata N., Obara K., Kasahara K., 2012. Decade-scale decrease in b value prior to the $M9$ -class 2011 Tohoku and 2004 Sumatra quakes, *Geophys. Res. Lett.* 39, L20304, doi.org/10.1029/2012GL052997

Nuannin P., 2006. The Potential of b-value variations as earthquake precursors for small and large events, Acta Universitatis Upsaliensis Uppsala, Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology. 183, 46 pp.

Popandopoulos G. A., Baskoutas I., Chatziioannou E., 2016. The spatiotemporal analysis of the minimum magnitude of completeness M_c and the Gutenberg-Richter law b-value parameter using the earthquake catalog of Greece, *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 52, 195-209.

- Paton S., 1992. Active normal faulting, drainage patterns and sedimentation in southwestern Turkey, *Journal of the Geological Society* 149, 1031-1044.
- Pino N.A., Convertito V., Madariaga R., 2019. Clock advance and magnitude limitation through fault interaction: the case of the 2016 central Italy earthquake sequence, *Scientific reports*, 9(1), 5005.
- Riviere J., Lv Z., Johnson P.A., Marone C., 2018. Evolution of *b*-value during the seismic cycle: Insights from laboratory experiments on simulated faults, *Earth and Planetary Science Letters* 482, 407-413.
- Sammonds P., Meredith P., Main I.G., 1992. Role of pore fluids in generation of seismic precursors to shear fracture, *Nature* 39, 228-230.
- Scholz C.H., 1968. The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America* 58(1), 399-415.
- Schorlemmer D., Wiemer S., Wyss M., 2005. Variations in earthquake-size distribution across different stress regimes, *Nature* 437, 539-542.
- Sengor A.M.C., 1987. Cross-faults and differential stretching of hangingwalls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey, *Geological Society, London*, 575-589, doi.org/10.1144/GSL.SP.1987.028.01.38.
- Shi Y., Bolt B.A., 1982. The standard error of the magnitude-frequency *b* value, *Bulletin of the Seismological Society of America* 72(5), 1677-1687.
- Shibutani T., Nakao S., Nishida R., Takeuchi F., Watanabe K., Umeda Y., 2002. Swarm-like seismic activity in 1989, 1990 and 1997 preceding the 2000 Western Tottori Earthquake, *Earth, Planets and Space*, 54, 831-845.
- Sykes R.L., 1970. Earthquake swarm and sea-sloor spreading, *J. Geophys. Res.* 75(32), 6598-6611.
- Utsu T., 1971. Aftershocks and earthquake statistics (3)-analyses of the distribution of earthquakes in magnitude, time and space with special consideration to clustering characteristics of earthquake occurrence (1), *Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University, Ser. 7 (Geophysics)*. 3(5), 379-441.
- Wang J., 1988. *b* values of shallow earthquakes in Taiwan, *Bulletin of the Seismological Society of America* 78(3), 1243-1254.
- Wiemer S., Wyss M., 2000. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: examples from Alaska, the western United States, and Japan, *Bulletin of the Seismological Society of America* 90(4), 859-869.
- Wiemer S., 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP, *Seismol. Res. Lett.* 72(3), 373-382.
- Wiemer S., Wyss M., 2002. Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes, *Advances in Geophysics* 45, 259-302.

Wu Y.-M., Chen S.K., Huang T.-C., Huang H.-H., Chao W.-A., Koulakov I., 2018. Relationship between earthquake b-values and crustal stresses in a young orogenic belt, *Geophysical Research Letters* 45, 1832-1837.

Wyss M., 1973. Toward a physical understanding of the earthquake frequency distribution, *Geophys. J. Royal Astronomical Society* 31, 341-359.

Xie W., Hattori K., Ha P., 2019. Temporal variation and statistical assessment of the b-value off the Pacific coast of Tokachi, Hokkaido, Japan, *Entropy* 21, 249.

Yeken T., 2016. Spatial analysis of b-value variability in Armutlu Peninsula (NW Turkey), *Open Geoscience* 8, 548-555.

Yilmaz Y., Genc S.C., Gurer F., Bozcu M., Yilmaz K., Karacik Z., Altunkaynak S., Elmas A., 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop? *Geological Society, London, Special Publications*. 173, 353-384.

Yusufoglu H., 1996. Northern margin of the Gediz graben: age and evolution, west Turkey, *Turk. J. of Earth Sci.* 5, 11-23.



Comparison of Horizontal/Vertical Spectral Ratios Obtained Using Earthquake and Microtremor Records: The Example of Amasya

Erkan Ates¹

¹ Disaster and Emergency Management Presidency, Cankaya 06800 Ankara, Turkey
ORCID: 0000-0002-5646-9778

Keywords

Earthquake, Accelerometer, Microtremor, Dominant Frequency, Amplification

Highlights

- * Soil properties were investigated by using the Horizontal/Vertical Spectral Ratio method
- * The dominant frequency and amplification values were determined using the HVSR method
- * It has been observed that the analysis of the Earthquake and Microtremor records are compatible

Acknowledgements

The earthquake data is provided from Disaster and Emergency Management Authority Presidential of Earthquake Department. Microtremor measurements were taken within the scope of AFAD National Earthquake Research Program UDAP-G-15-04 project.

Aim

In this study, The results of HVSR method of microtremor and earthquake records were compared.

Location

City district of Amasya and 4 district centers

Methods

The earthquake and microtremor records of Amasya center and 4 district centers were analyzed using the Horizontal / Vertical Spectral Ratio (HVSR) method.

Results

It has been observed that the analysis of the Earthquake and Microtremor records are compatible

Supporting Institutions

AFAD

Manuscript

Research Article

Received: 02.06.2020

Revised: 24.11.2020

Accepted: 03.12.2020

Printed: 30.12.2020

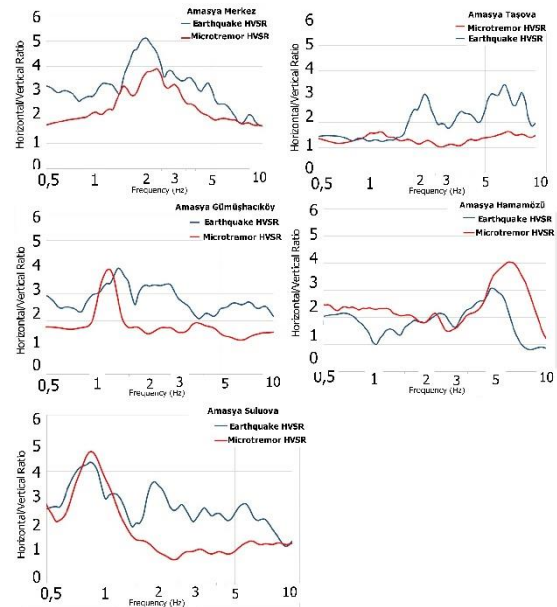
DOI

10.46464/tdad.746926

Corresponding Author

Erkan Ates

Email: erkan.ates@afad.gov.tr



Figure

Microtremor and earthquake data analysis results

How to cite

Ates E., 2020. Comparison of Horizontal / Vertical Spectral Ratios Obtained Using Earthquake and Microtremor Records: The Example of Amasya, Turk. J. Earthq. Res. 2 (2), 160-175, <https://doi.org/10.46464/tdad.746926>



Deprem ve Mikrotremor Kayıtları Kullanılarak Elde Edilen Yatay/Düşey Spektral Oranların Karşılaştırılması: Amasya Örneği

Erkan Ateş¹

¹Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Çankaya 06800 Ankara, Türkiye
ORCID: 0000-0002-5646-9778

ÖZET

Amasya ili merkezi ve 4 ilçe merkezinde bulunan ivmeölçer istasyonlarının kaydettiği deprem verileri ile zemin dinamik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla alınan mikrotremor kayıtlarının yatay/düşey spektral oran (HVSR) yöntemi analizi yapılarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında deprem ve mikrotremor verilerinin analizlerinden yatay/düşey oran sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Alüvyon kalınlığının yüksek olduğu Suluova ve Gümüşhacıköy istasyonlarındaki sonuçlar (hâkim frekans ve büyütme) birbirine oldukça yakındır. Kayma dalga hızı daha yüksek olan Amasya merkez ve Hamamözü istasyonlarında ise büyütme ve hâkim frekans değerlerinde çok az farklılıklar bulunmaktadır. Yalnız Taşova istasyonunda yapılan mikrotremor analizinde net bir pik gözlenmemiştir. Yapılan çalışma sonucu mikrotremor ve deprem kayıtlarının yatay/düşey spektral oran yöntemi sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler

Deprem, İvmeölçer, Mikrotremor, Hâkim Frekans, Büyütme

Öne Çıkanlar

- * Yatay/Düşey Spektral Oran yöntemi kullanılarak zemin özellikleri araştırılmıştır
- * HVSR yöntemi kullanılarak hâkim frekans ve büyütme değerleri belirlenmiştir
- * Deprem ve Mikrotremor kayıtlarının analizlerinin uyumlu olduğu görülmüştür

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 02.06.2020
Düzeltilme: 24.12.2020
Kabul: 03.12.2020
Basım: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.746926

Sorumlu yazar

Erkan Ateş
Eposta:
erkan.ates@afad.gov.tr

Comparison of Horizontal/Vertical Spectral Ratios Obtained Using Earthquake and Microtremor Records: The Example of Amasya

Erkan Ates¹

¹ Disaster and Emergency Management Presidency, Cankaya 06800 Ankara, Turkey
ORCID: 0000-0002-5646-9778

ABSTRACT

The earthquake data recorded by the accelerometer stations in the city district of Amasya and 4 district centers were compared with the horizontal / vertical spectral ratio (HVSR) method analysis of the microtremor records taken to determine the soil dynamic properties. When the results are compared, it is seen that the horizontal / vertical ratio results from the earthquake and microtremor data analysis are consistent with each other. The results (dominant frequency and amplification) at Suluova and Gümüşhacıköy stations where the alluvium thickness is high are very close to each other. At Amasya central and Hamamözü stations with higher shear wave velocities, there are very few differences in amplification and dominant frequency values. A clear peak was not observed in the microtremor analysis performed only at Tasova station. As a result of the study, it has been concluded that the results of the horizontal / vertical spectral ratio method of microtremor and earthquake records are compatible with each other.

Keywords

Earthquake, Accelerometer, Microtremor, Dominant Frequency, Amplification

Highlights

- * Soil properties were investigated by using the Horizontal/Vertical Spectral Ratio method
- * The dominant frequency and amplification values were determined using the HVSR method
- * It has been observed that the analysis of the Earthquake and Microtremor records are compatible

Manuscript

Research Article

Received: 02.06.2020
Revised: 24.11.2020
Accepted: 03.12.2020
Printed: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.746926

Corresponding Author

Erkan Ateş
Email:
erkan.ates@afad.gov.tr

1. GİRİŞ

Bir deprem meydana geldiğinde yeryüzündeki tabakalar fiziki özelliklerine göre az veya çok hissedecektir. Bazı tabakalar deprem dalgasının genliğini bazı frekanslarda artırırken bazı frekanslarda sönmeyecektir (Yalçınkaya 2010). Deprem dalgalarının zemin tabakalarını bu şekilde büyütülmesine zemin etkisi adı verilir. Bu etki genliklerin artması şeklinde gözlemlendiğinden zemin büyütmesi olarak adlandırılmaktadır. Zayıf yer özelliklerine sahip alanlarda deprem hasarının büyük etkisi olduğu Kobe depreminin incelenmesiyle kanıtlanmıştır (Irikura 1996). Maksimum büyütmenin görüldüğü ilk hakim frekans (f_0) aynı zamanda rezonans frekansı olarak da adlandırılır. Rezonans olayı etkileşim halindeki iki farklı titreşim frekansının çakışması durumudur.

Zemin büyütmesinin belirlemenin en etkili yöntemi deprem (ivmeölçer) kayıtlarının incelenmesidir. Ancak bunun için yeterli sayıda kuvvetli yer hareketi cihazı kurulması ve bu cihazların yeterli sayıda deprem kaydetmesi gerekmektedir. Zemin büyütmesini belirlenmenin bir yolu da mikrotremor kayıtlarının analiz edilmesidir. Depremlerin kayıtlarına uygulanan yatay/düşey spektral oran (EHV), kaynak ve yol etkilerini ortadan kaldırırken yerel alan etkileri hakkında bilgi verir (Langston 1977). Deprem kayıtlarına uygulanan yatay/düşey spektral oran (EHV) yönteminde deprem kayıtlarının S-dalgasının düşey bileşenin yer koşullarından etkilenmediği prensibiyle, yatay bileşen spektrumlarının düşey bileşene oranlanması prensibine dayanır (Nakamura 1989, Lermo ve Chavez 1993).

Tek istasyon kullanılması, referans (anakaya) istasyon gerektirmediği için HVSR yönteminde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Bonilla ve diğ. 1997, Gok ve diğ. 2014, Pamuk 2019). Bu yöntem ülkemizde de yaygın olarak kullanılmıştır; Yalçınkaya (2005) Bursa ilinde kurulan ivmeölçerler, Ateş ve Uyanık (2019) da Kocaeli ilinde kurulu bulunan ivmeölçerler ile kayıt edilen depremlere bu yöntemi uygulayarak zemin etkisini belirlemişlerdir. Ayrıca Özer (2019) Erzurum ilindeki ivmeölçer istasyonlarını, Perk ve Ozer (2019) Hatay ilinde bulunan ivmeölçer istasyonlarının kaydettiği bir adet deprem kaydını, Alcik (2018) Muğla ili Bodrum ilçesinde kurulu bulunan 5 adet ivmeölçer istasyonunun kaydettiği $M_w=6.6$ Bodrum depremi ana şok ve artçı deprem kayıtlarını kullanarak yer tepkisini belirlemişlerdir.

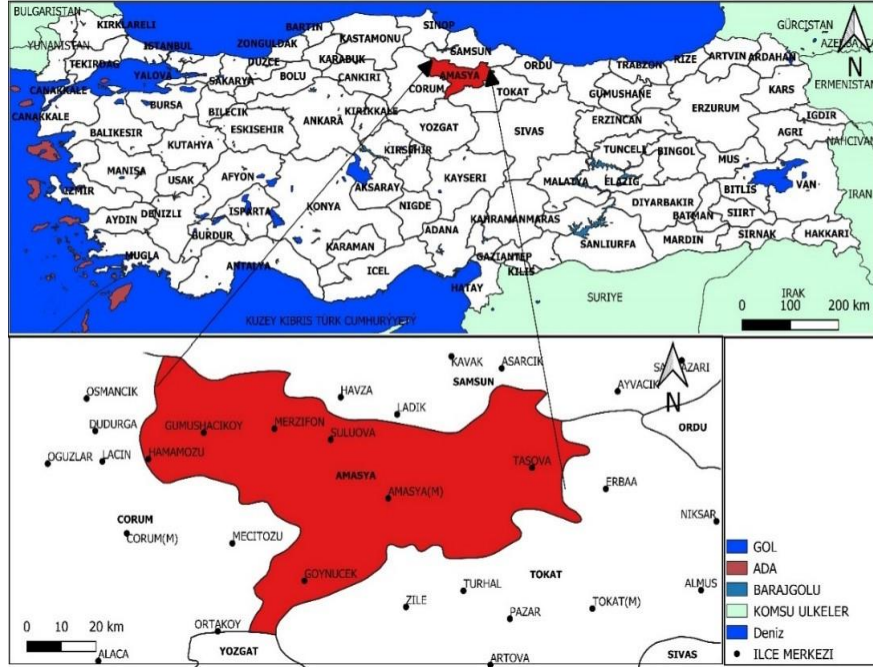
Mikrotremor ölçümleri kullanılarak yer etkisinin belirlenmesi son dönemde oldukça yaygınlaşmıştır. Mikrotremor ölçümlerine uygulanan yatay düşey spektral oran yönteminde, yatay bileşen spektrumları düşey bileşene oranlanır. Bu şekilde zemin hâkim periyodu ve zemin büyütmesi belirlenebilir. Ölçümlerin hızlı toplanması ve deprem meydana gelmeden zemin etkisinin belirlenmesi amacıyla zemin etütlerinde ve plana esas etüt çalışmalarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Tunçel ve diğ. 2019, Livaoğlu 2015).

Amasya ili tarihte birçok depreme maruz kalmıştır. Günümüzde mevcut yerleşim alanlarının yetersiz kalmasından dolayı şehirler alüvyon alanlar üzerinde yayılmaktadır. Bu nedenle özellikle yerleşim alanlarının zemin özelliklerinin iyi araştırılması çok önemlidir. Amasya ilinde T.C İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından işletilen 8 adet kuvvetli yer hareketi istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonların tamamının zemin sınıflama çalışmaları tamamlanmıştır. Bu çalışmamızda ivmeölçer istasyonları tarafından kayıt edilen gerçek deprem kayıtları ile CMG-6TD hızölçer cihazı ile alınan mikrotremor ölçümlerine yatay/düşey spektral oran (HVSR) yöntemi uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanımız olan Amasya ili; Orta Karadeniz Bölümünün iç kısmında yer almaktadır. Yüz ölçümü 5701 km^2 olup nüfusu 2017 yılı sayımına göre 329.888 dir. 7 adet ilçesi bulunmaktadır. Nüfusunun %40'ı merkezde geri kalan %60 nüfusu ise ilçelerinde bulunmaktadır. 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda ise çalışma konusu 5 ilçenin 475 yıllık

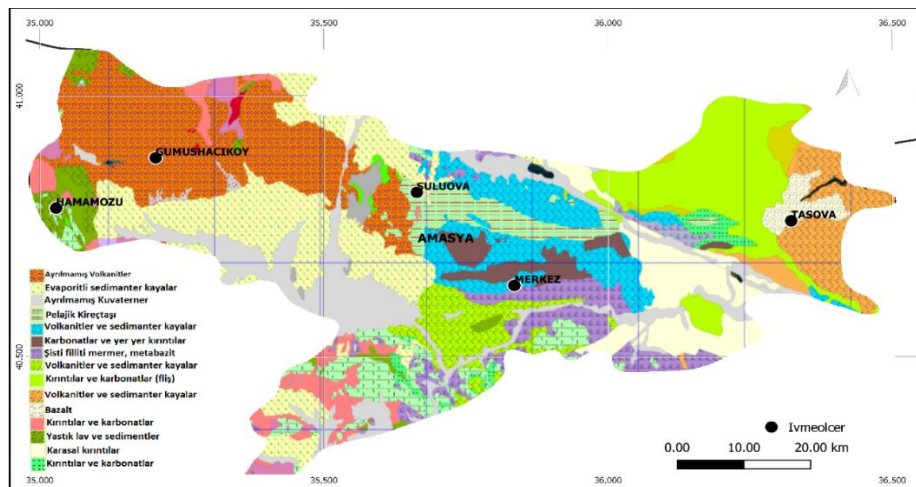
tekrarlama periyodunda en büyük yer ivmesi 0.4 g'den büyüktür (TDTH 2018). Bu durum Amasya ilindeki deprem tehlikesinin yüksek olduğunu göstermektedir.



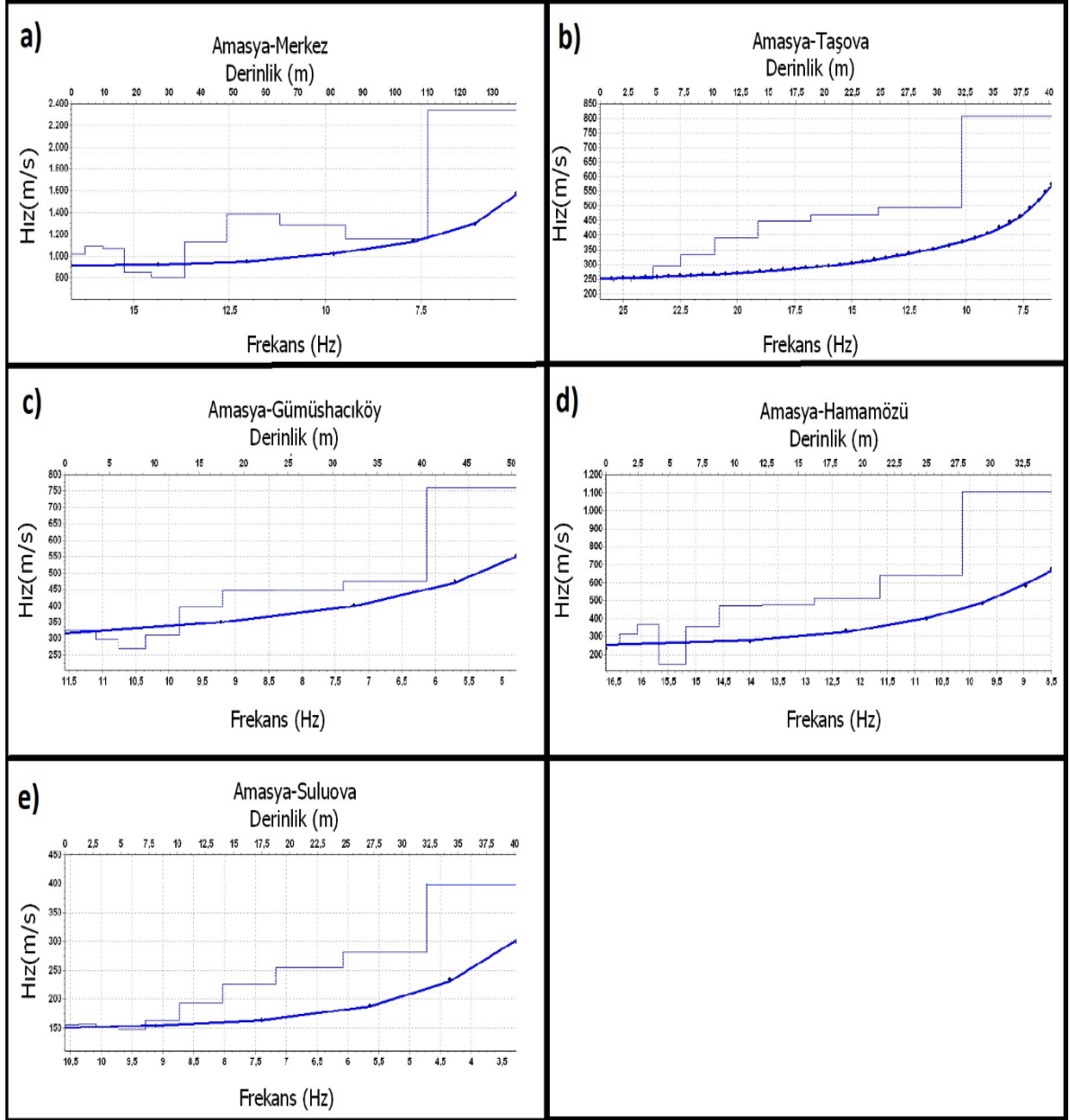
Şekil 1: Çalışma Alanı

2.1) Çalışma Alanının Genel Jeolojisi ve Kayma Dalgası Hız Kesitleri

İstasyonların bulunduğu alanların MTA yer bilimleri portalından alınan genel jeoloji haritasına göre Amasya merkez istasyonu Neritik Kireçtaşı, Amasya Taşova istasyonu Karasal kırıntılar, Gümüşhacıköy ve Hamamözü istasyonları Sedimanter kayalar, Suluova istasyonu ise ayrılmış Kuvarterner üzerinde konumlanmıştır (Şekil 2) (Akbaş ve diğ. 2011).



Şekil 2: Amasya ilinin genel jeoloji haritası (Akbaş ve diğ. 2011)



Şekil 3: MASW Ölçümü sonuçları a) Amasya Merkez, b) Amasya Taşova, c) Amasya Gümüşhacıköy, d) Amasya Hamamözü, e) Amasya Suluova (Kurtuluş ve diğ. 2020)

İstasyonların zemin sınıflarının belirlenebilmesi için yapılan yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (MASW) çalışmalarının sonuçları gösterilmiştir (Şekil 3). Yapılan ölçüm sonuçlarına göre Amasya merkez istasyonunun kayma dalga hızı yüksek olup istasyon yakınında yüzeylenmiş kaya birimleri mevcuttur. Gümüşhacıköy ve Suluova ilçelerinde bulunan istasyonların ilk 30 metre ortalama kayma dalga hızları (V_{s30}) ise 360 m/s ve 200 m/s'dir. Bu iki istasyonda kayma dalga hızları düşüktür. Taşova ve Hamamözü istasyonlarının ölçüm sonuçlarına göre 15 metreden sonra kayma dalga hızlarında bir artış görülmektedir.

2.2) Tarihsel Depremler

Anadolu'daki en eski yerleşim yerlerinden biri olan Amasya, tarihte birçok depreme maruz kalmıştır. Bölgede hakkında detaylı bilgi edinilen ilk deprem 1579 yılına aittir. Çorum'da pek çok hasara neden olan bu deprem, Amasya'da da hasara sebep olmuştur (Ambraseys ve

Finkel 1995). 1598 yılında gerçekleşen bir diğer depremin de Amasya'da büyük hasara sebep olduğu Venedik kaynaklarında kayıtlara geçmiştir (Ambraseys ve Finkel 1995). 17'nci yüzyılda da Amasya ve çevresinde birçok depremin meydana geldiği tarihi kayıtlarda yer almaktadır. 1647-1648 tarihleri arasında bölgede meydana gelen depremde Amasya'da Hacı Hamza Mescidi, Fethiye Camii ve Hilafet Gazi Medresesinin hasar gördüğü kayıtlara geçmiştir (Yaşar 1912-1928). Aynı yüzyılda bölgede meydana gelen en büyük deprem ise 16 Ağustos 1668 Depremidir. Bu depremde, etki alanı değerlendirmelerine göre Niksar-Bolu arasındaki Kuzey Anadolu Fayı tamamen kırılmıştır. Sultan Bayezid Camii'nin kubbeleri, minareleri, Amasya Kalesi'nin duvarları, kargir binalar, camilerin çoğunun kubbeleri ve Bedesten kısmen ya da tamamen yıkılmıştır (Yaşar 1912- 1928). 14 Eylül 1684 yılında gerçekleşen bir diğer depremde ise Amasya kentindeki taş binaların ve evlerin yıkıldığından bahsedilmektedir. Bunların yanı sıra Sultan Beyazıt Camii'nde de hasar olduğu kaydedilmiştir (Yaşar 1912-1928).

18'inci yüzyılda meydana gelen depremlerden 1734 depreminde, önceki depremlerde hasar almış harabe haldeki Beyler Sarayı tamamen yıkılmıştır (Yaşar 1912-1928). Vezirköprü ve Merzifon'u etkileyen 29 Ekim 1776 depreminde ise bu kentlerdeki kötü durumdaki binaların bir kısmı ile Amasya'da bulunan Ayşe hatun Türbesinin yıkıldığı rapor edilmiştir (Ambraseys ve Finkel 1995). Yüzyılın sonunda Temmuz 1794'da meydana gelen depremde ise Çorum ve çevresi şiddetli olarak etkilenmiştir. Şehirdeki kamu binalarının çoğunluğu yıkılmış ve hasar görmüştür. Amasya ve Kargı çevresinin de kuvvetli etkilendiği belirtilmektedir (Ambraseys ve Finkel 1995).

2.3) Aletsel Dönem Meydana Gelen Depremler

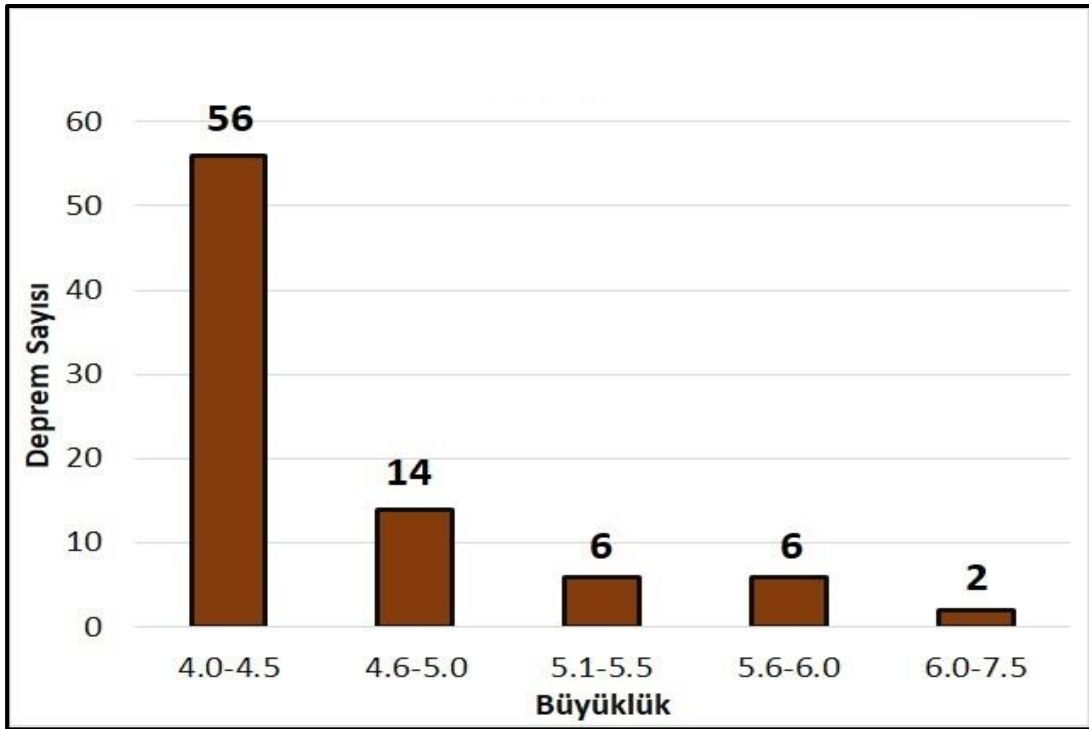
Merkezi Amasya olan 100 km yarıçaplı bir alanda 1900-2020 yılları arasında meydana gelen $M \geq 4.0$ 84 depremin dağılımı Şekil 4'te, büyüklük-sayı grafiği ise Şekil 5'te verilmiştir. Depremlerin genel olarak Kuzey Anadolu Fay Zonu, Merzifon Esençay Fayı ve Ezine Pazarı fayı üzerinde gerçekleştiğini görülmektedir.

Bu depremler arasından magnitüdü 7'den büyük olan iki depremden ilki 1916 yılında meydana gelmiştir. Bu deprem hakkında kesin net bilgiler bulunmamaktadır. İkincisi ise 20 Aralık 1942 tarihinde yerel saat ile 17.03'te meydana gelen, merkez üssü Erbaa-Niksar hattı olan, $M_s=7.0$ büyüklüğündeki depremdir. Bu deprem 1939'daki depremden daha fazla can ve mal kaybına sebep olmuş, Erbaa adeta haritadan silinmiştir. Depremde, Niksar'ın doğusu ile Erbaa kuzeyi arasında yaklaşık 50 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşurken büyük can ve mal kaybının olduğu Niksar'da da birkaç yapı ayakta kalabilmiştir (Eyidoğan ve diğ 1991).

Bölgede meydana gelen depremlerin 22 adeti 14.08.1996 tarihinde meydana gelen depremlerin artçılarıdır. Büyüklüğü 5.7 ve 5.6 olan iki deprem Mecitözü ve bağlı köylerde 2.606 konutta hasar meydana getirmiştir.



Şekil 4: Merkezi Amasya olan 100 km yarıçaplı bir alanda 1900-2020 yılları arasında meydana gelen $M \geq 4.0$ depremlerin dağılımı (AFAD 2020, Fay bilgisi Emre ve diğ. 2013)



Şekil 5: Merkezi Amasya olan 100 km yarıçaplı bir alanda 1900-2020 yılları arasında meydana gelen $M \geq 4.0$ depremlerin büyüklük – sayı grafiği (AFAD 2020)

3. YÖNTEM VE VERİ

3.1) Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi (HVSR)

Yöntem deprem ve mikrotremor kayıtlarında düşey bileşenin yerel jeolojiden etkilenmediği görüşüne göre yatay bileşenlerin genlik spektrumlarının düşey bileşen genlik spektrumuna oranlanması prensibine dayanır (Nakamura 1989; Lermo ve Chavez 1993). Bu şekilde zemin hâkim periyodu ve büyütme değerleri hesaplanabilir.

Yöntem deprem kayıtlarına ve mikrotremor kayıtlarına başarı ile uygulanmaktadır. Eşitlik 1'de gösterildiği üzere yatay bileşen spektrumlarının bileşkelerinin düşey bileşene oranlanarak zemine ait hâkim frekans ve büyütme değerleri bulunabilir.

$$St = Hy \div Vd \quad (1)$$

Eşitlik 1'de verilen Hy yatay bileşen genlik spektrumlarının bileşkesini Vd düşey bileşen genlik spektrumunu St transfer fonksiyonunu göstermektedir.

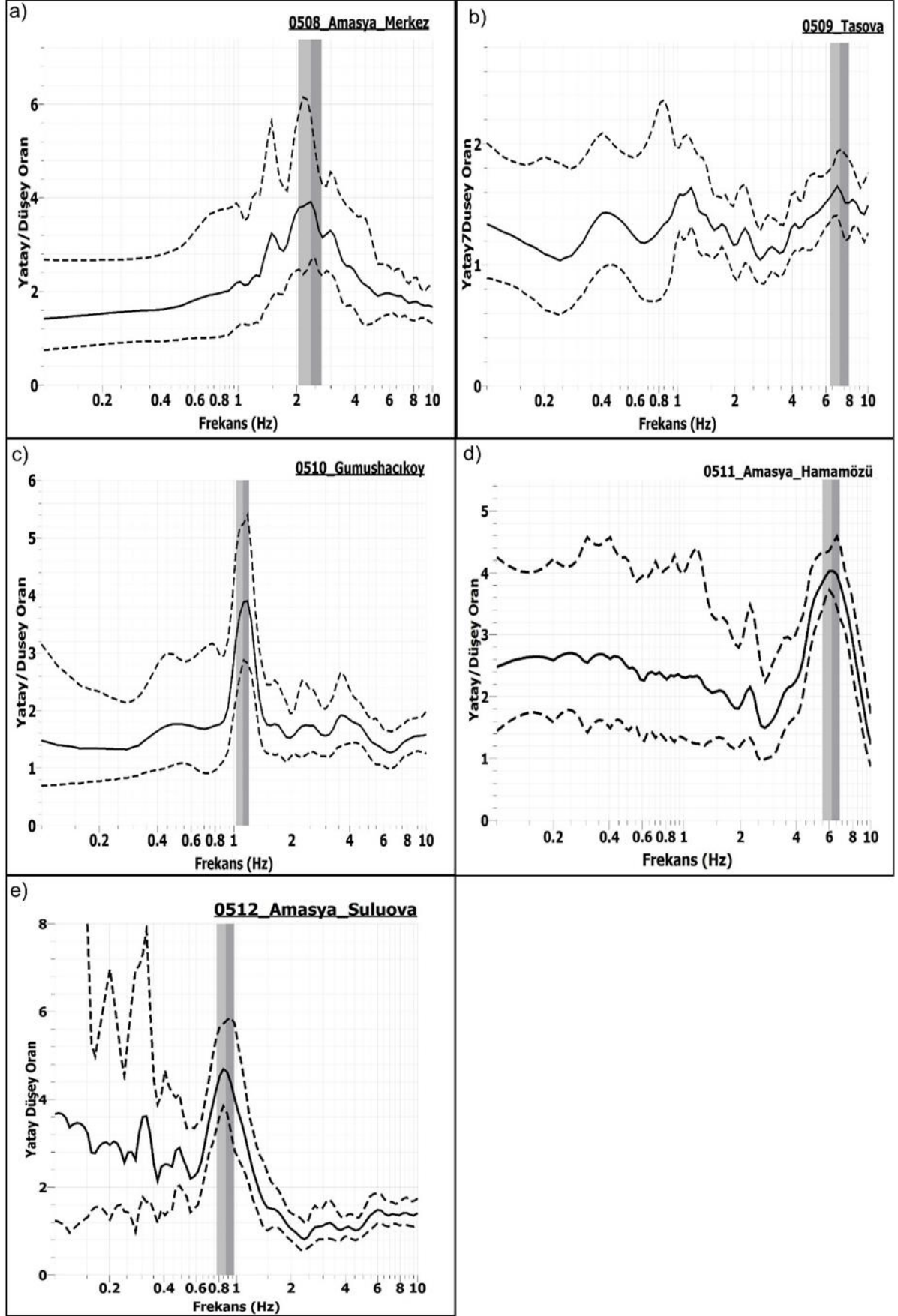
3.2) Mikrotremor Kayıtlarına Uygulanan HVSR Yöntemi

Mikrotremor verilerinin toplanmasında GÜRALP CMG 6TD hızölçer sismometre kullanılmıştır. Kayıtlarda güç kaynağı olarak 12 Volt pil kullanılmıştır. Ölçüm süreleri ise Amasya merkez istasyonunda arazide meydana gelen sorunlar nedeniyle kısa tutulmuş olup 17 dk, Taşova istasyonunda 50 dk, Hamamözü, Suluova ve Gümüşhacıköy istasyonlarında ise 1 saat üzerinde mikrotremor kaydı saniyede 100 örnek olacak şekilde alınmıştır.

5 istasyonda toplanan veriler Geopsy programında değerlendirilmiştir (SESAME 2004). Verilerde trend analizi yapılmış, band geçişli filtre uygulanmış (0.1-25 Hz), veriye başından ve sonundan kosinüs törpü (%5) yapılmış ve uygun pencereler seçilmiş, her bir pencere için Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanarak her bir bileşene ait genlik spektrumları elde edilmiştir. Elde edilen spektrumlara ise bant genişliği $b=40$ seçilerek Konno-Ohmachi yuvarlatması uygulanmıştır. Son aşamada ise yatay bileşen spektrumlarının düşey bileşen spektrumuna oranlanmasıyla HVSR değerleri elde edilmiştir. Mikrotremor verilerinin değerlendirilmesinde, SESAME kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre pencere boyu ($f_0 > 10 /$ pencere boyu), belirgin devirlerin sayısının (hâkim frekans, pencere sayısı ve pencere boyunun çarpımı) 200'den büyük olması, f_0 (hakim frekans) değerinin 0.5 Hz'den büyük veya küçük olma durumu, H/V eğrisinin standart sapma değerlerinin belli değerlerden küçük olması kriterleri göz önüne alınmıştır. İstasyondan toplanan verilerin değerlendirmeleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

Hamamözü, Suluova ve Gümüşhacıköy istasyonlarında pencere boyu 25 sn, Amasya merkez ve Taşova istasyonunda ise seçilen 25 sn'lik pencere boyu sayısının yetersiz olması nedeniyle 10 sn olarak alınmıştır. Analizlerde kullanılan pencere boyları ve devir sayıları SESAME standartlarındadır.

İstasyonların mikrotremor analizlerinin sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir. Gümüşhacıköy ve Suluova ilçeleri geniş bir alüvyon tabakası üzerindedir. Alınan sonuçlar MASW sonuçları ile uyumludur. Yapılan analizlerde 2 istasyonda da 1 Hz civarında doruklar gözlenmiştir. Taşova istasyonunda ise mikrotremor analizlerinde net bir doruk görünmemektedir. Amasya Merkez istasyonunda ise 2.36 Hz de çok net bir doruk hesaplanmıştır. Amasya Hamamözü istasyonunda ise 6 Hz civarında bir doruk hesaplanmıştır.



Şekil 6: Mikrotremör ölçümü sonuçları a) Amasya Merkez, b) Amasya Taşova, c) Amasya Gümüşhacıköy, d) Amasya Hamamözü, e) Amasya Suluova

3.3) Deprem kayıtlarına Uygulanan Yatay/Düşey Spektral Yöntemi (EHV) ve Analizde Kullanılan Depremler

Yapılan çalışmada 2015-2019 yılları arasında meydana gelen ve büyüklükleri 3.0 ile 4.9 arasında değişen 10 adet deprem kaydı kullanılmıştır (AFAD 2020). Depremlerin lokasyonları Şekil 8'de gösterilmiştir. Kullanılan depremler ile ilgili bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Analizlerde hangi istasyonlar için hangi depremlerin kullanıldığını ise Tablo 2'de verilmiştir. Yapılan analizlerde Amasya ili çevresinde meydana gelmiş deprem kayıtları kullanılmıştır. Örnek bir deprem istasyonu kabini Şekil 7'de gösterilmiştir.

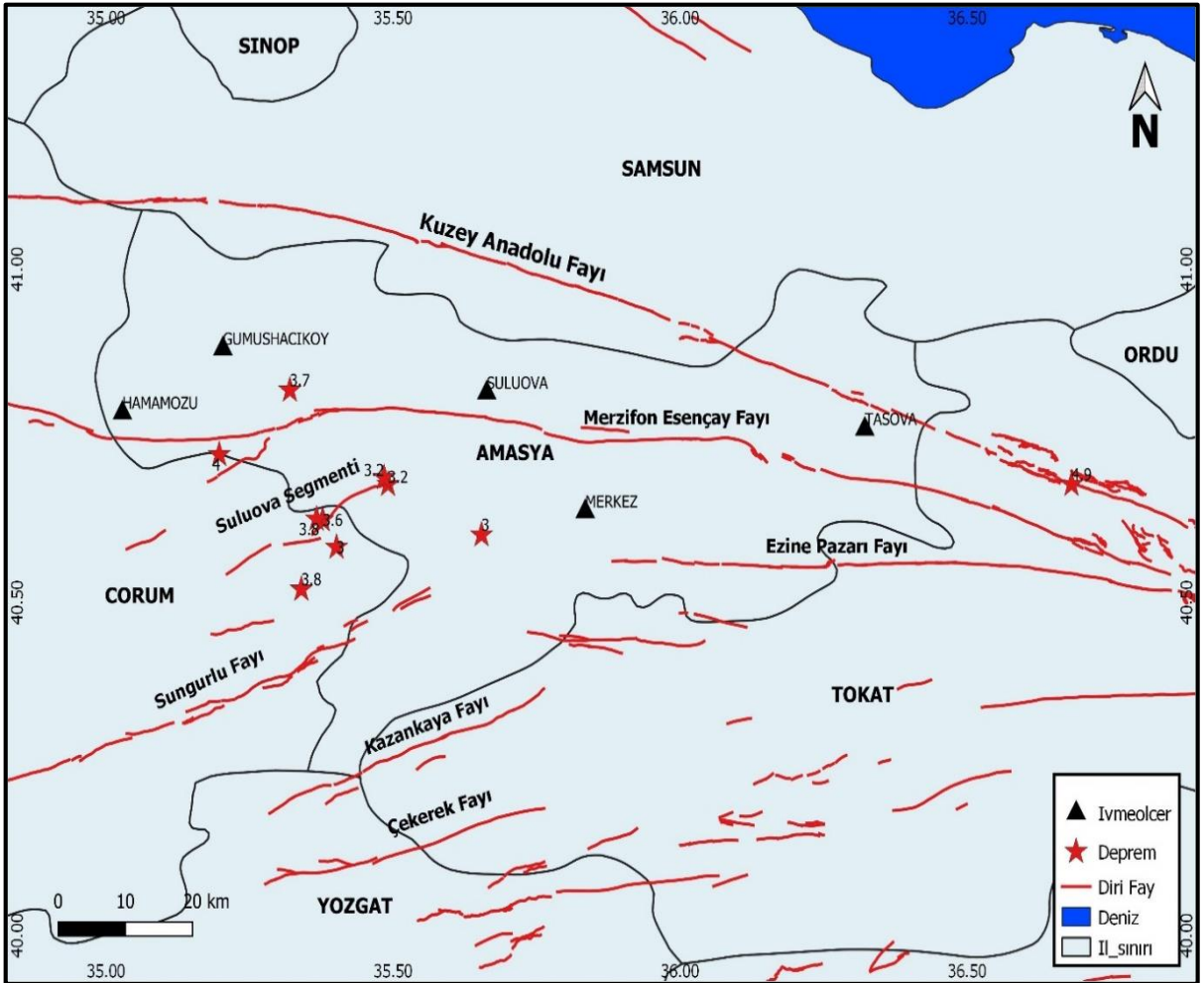
Kullanılan depremlerden hiçbiri hasar yapıcı değildir. En büyük kayıt Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde meydana gelen 4.9 büyüklüğündeki Erbaa depremidir. Bu depremin hasar kaydı bulunmamakla birlikte deprem merkez üssünde ve çevre illerde hissedilmiştir. Analizde kullanılan diğer depremlerin büyük bir kısmı Suluova parçası üzerinde meydana gelmiş küçük depremlerdir. İki deprem ise Merzifon-Esençay Fayı ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 7: Kuvvetli yer hareketi istasyon kabini

Tablo 1: Analizde kullanılan depremler (AFAD)

No	Tarih	Boylam	Enlem	Derinlik	Büyüklik
1	09-10-2015	36.6820	40.6778	21	4.9 (M _w)
2	20-07-2018	35.4910	40.6778	7	3.2 (M _w)
3	18-10-2018	35.1970	40.7225	11	4.0 (M _w)
4	19-03-2019	35.3200	40.8193	11	3.7 (M _w)
5	28-03-2019	35.4841	40.6881	13	3.2 (M _l)
6	28-05-2019	35.6540	40.6020	14	3.0 (M _l)
7	13-07-2017	35.3401	40.5203	13	3.8 (M _w)
8	11-09-2019	35.3773	40.6245	8	3.6 (M _w)
9	12-01-2017	35.4013	40.5835	11	3.0 (M _l)
10	11-09-2019	35.3666	40.6258	11	3.8 (M _w)



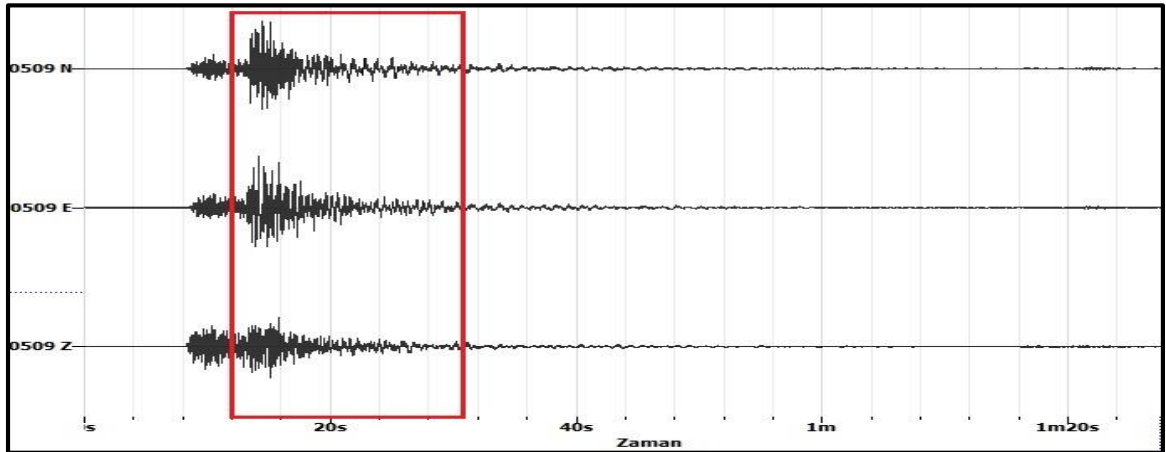
Şekil 8: Analizde kullanılan depremler

Tablo 2: İstasyonların kullanıldığı depremler

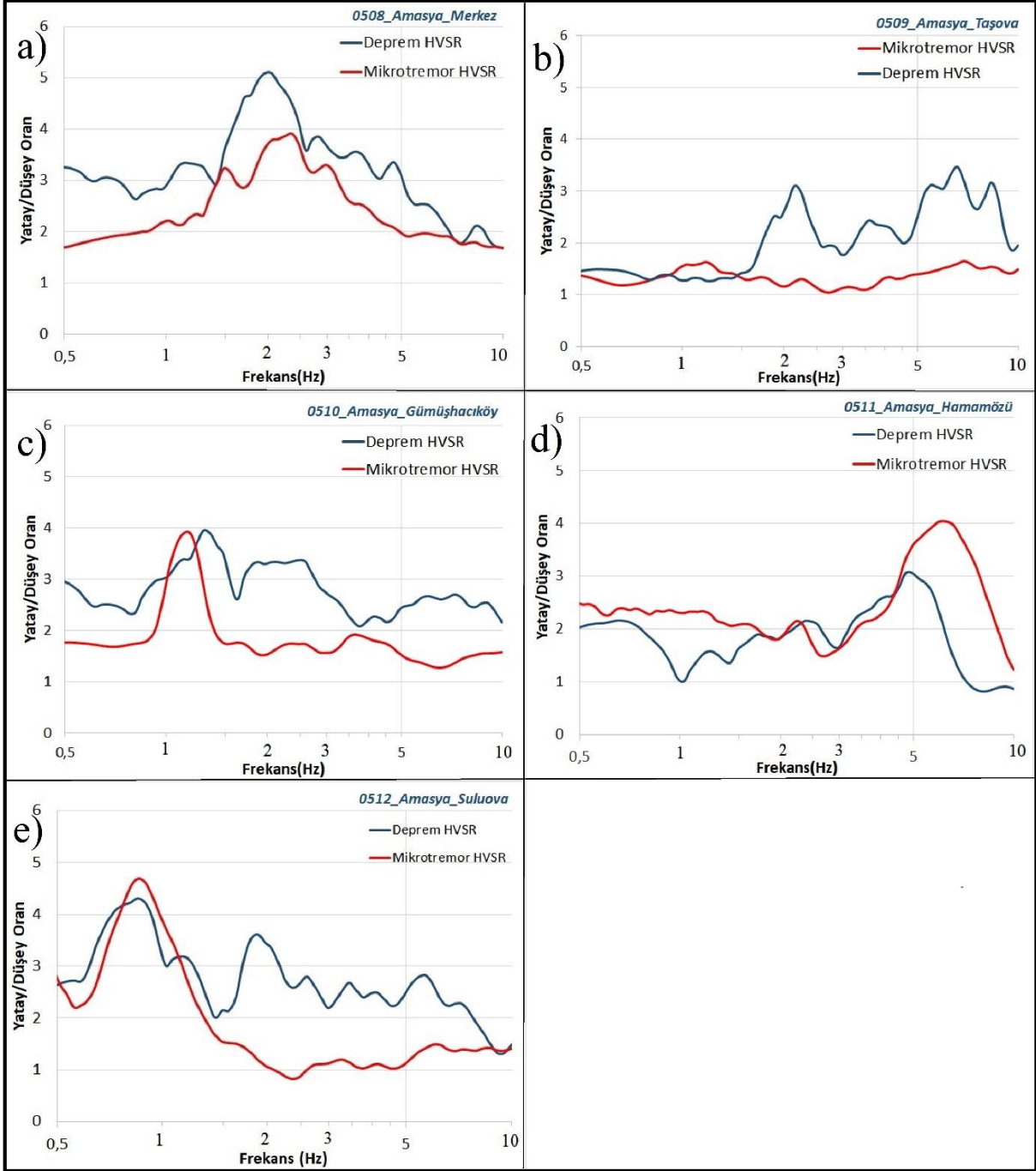
Tarih	Büyükük	Merkez	Taşova	Gümüşhacıköy	Hamamözü	Suluova
09-10-2015	4.9 (M_w)	X	X	X		
12-01-2017	3.2 (M_w)			X		
13-07-2017	4.0 (M_w)	X			X	X
20-07-2018	3.7 (M_w)				X	X
18-10-2018	3.2 (M_l)	X			X	
19-03-2019	3.0 (M_l)	X	X			X
28-03-2019	3.8 (M_w)	X	X	X		
28-05-2019	3.6 (M_w)	X				X
11-09-2019	3.0 (M_l)			X		
11.09.2019	3.8 (M_w)				X	
Kullanılan deprem sayısı		6	3	4	3	6

Amasya merkez ve 4 ilçesinde bulunan ivmeölçer cihazlarının kaydettiği deprem verilerinin S dalgasına, yatay düşey spektral oran yöntemi uygulanmıştır. İlçelerde bulunan deprem gözlem istasyonları 3 farklı markaya (Guralp 5TD, GMSPLUS, SARA SA10) aittir. Verilerin örnekleme aralığı saniyede 100 örnek olacak şekilde ayarlanmıştır. Zemin hâkim frekansının ve büyütmenin belirlenebilmesi için deprem kaydının yalnızca S dalga fazı kullanılmıştır. Her istasyon için minimum 3 deprem kaydı kullanılmış olup, S dalga fazının 2 sn önünden başlayarak tüm fazı içine alacak şekilde toplam 20 sn'lik kısım kullanılmıştır. Deprem dalgasının S dalga fazına 0.1-25 Hz bant geçişli filtre uygulanmış, veri baş ve sonundan kosinüs törpü (%5) yapılmış ve her bir pencere için Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanarak her bir bileşene ait genlik spektrumları elde edilmiştir. Elde edilen spektrumlara ise bant genişliği $b=40$ seçilerek Konno-Ohmachi yuvarlatması uygulanmıştır. Son aşamada ise yatay bileşen spektrumlarının düşey bileşen spektrumuna oranlanmasıyla HVSR değerleri elde edilmiştir.

S dalgasının seçilmesindeki pencere boyları için 5 sn (4 pencere), 10 sn (2 pencere) ve 20 sn'lik (1 pencere) pencereler denenmiş ve en uygun olanın 5 sn'lik 4 pencerenin ortalamasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Örnek olarak Taşova istasyonunda kaydedilen ve analizde kullanılan depremlerden 1 adet kayıt ve seçilen S fazı (seçili pencere) örnek olarak Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9: Analizlerde kullanılan Taşova istasyonuna ait bir kayıt (Kırmızı ile işaretlenen bölge seçilen S dalgasını göstermektedir.)



Şekil 10: Deprem ve mikrotremör ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması a) Amasya Merkez, b) Amasya Taşova, c) Amasya Gümüşhacıköy, d) Amasya Hamamözü, e) Amasya Suluova

4. BULGULAR

5 adet istasyonun kaydettiği deprem kayıtlarının ve istasyonların mikrotremör ölçümlerinin yatay/düşey spektral oran yöntemi kullanılarak yapılan değerlendirmeler Tablo 3 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.

Vs-derinlik kesitlerine bakılarak alüvyon kalınlığı fazla olan Gümüşhacıköy ve Suluova istasyonlarında mikrotremör ve deprem kayıtları sonuçları birbirlerine çok yakındır. Bu durum yöntemin özellikle alüvyon ve yüksek empedans farkı gösteren sahalarda net bir doruk oluşturmaktadır tezini doğrulamaktadır.

Tablo 3'te görüleceği üzere hâkim frekanslarda en yüksek fark Hamamözü istasyonunda yakalanmıştır. İki farklı veri kullanılarak benzer sonuçlara bu istasyonda da ulaşılmıştır. Bu istasyonun Vs-derinlik kesitlerine bakıldığında kayma dalgası hız değişiminin 20 metreden sonra arttığı görülmüştür.

Amasya merkezde bulunan deprem istasyonunun ölçüm sonuçlarına bakıldığında baskın hâkim frekanslarda benzerlikler yakalanırken büyütme değerlerinde küçükte olsa bir farklılık gözlenmiştir.

Taşova istasyonunda ise deprem ve mikrotremor sonuçları uyumsuzdur. Mikrotremor sonuçlarında net bir pik görülmemiş ancak deprem kayıtlarının analizinde 2 Hz ve 6 Hz de pikler görülmüştür. Bu istasyonun MASW yöntemiyle elde edilen Vs-derinlik kesitleri incelendiğinde 15 m ye kadar kayma dalga hızı düşük devam etmesine rağmen derinlere inildikçe kayma dalga hızı artmış 30 metre sonra 800 m/s hıza ulaşmıştır. Bu sahalarda deprem kayıtlarının analizleri veya diğer jeofizik yöntemler kullanılabilir (SESAME 2004).

Tablo 3: Deprem ve mikrotremor analizi sonuçları

İlçe	f0 (Mikrotremor)	f0 (Deprem)	Büyütme (Mikrotremor)	Büyütme (Deprem)
Merkez	2.4	2.0	4.0	5.1
Taşova	--	6.6	--	3.5
Gümüşhacıköy	1.2	1.3	3.9	4.0
Hamamözü	6.1	5.0	4.0	3.1
Suluova	0.8	0.8	4.7	4.3

5. SONUÇLAR

2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda ise çalışma konusu 5 ilçenin tümünde ivme değeri 0.4 g'nin üzerindedir. Deprem tehlikesi yüksek olan yapılaşmaya açık alanlarda, mühendislik yapılarının dinamik yükler altında rezonans (yapı ile zeminin doğal periyodunun örtüşmesi) etki göstermemesi için zemin hâkim titreşim periyotları dikkate alınmalıdır.

Deprem kayıtları ve mikrotremor kayıtlarının yatay/düşey spektral oran yöntemi kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında 5 istasyondan 4 tanesinde hâkim frekans ve büyütme değerleri yakın sonuçlar ortaya çıkmıştır. Özellikle çok kalın alüvyon sahalarda kurulu bulunan Gümüşhacıköy ve Suluova istasyonlarında deprem ve mikrotremor analizleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir bu ilçelerde zemin hâkim frekansı 0.8 Hz ile 1.2 Hz arasında ve büyütme değerleri yaklaşık 4 kattır.

Kayma dalga hızları daha yüksek olan Hamamözü ve Amasya merkez istasyonlarında ise iki farklı veri ile yapılan analizlerin sonuçları birbirine çok yakındır. Büyütme değerlerinde ise anormal bir fark bulunmamaktadır.

Yalnızca Taşova istasyonunda bir uyum gözlenememiştir. Bu istasyonunun mikrotremor kayıtlarının analizlerinde çok net bir pik gözlenmemiştir. Mikrotremor ölçümünün sonuç vermediği bu tip sahalarda deprem kayıtlarının analizi veya diğer jeofizik yöntemler kullanılabilir.

Deprem ve mikrotremor kayıtlarına uygulanan HVSR sonuçları karşılaştırıldığında uyumlu oldukları görülmektedir. Elde edilen sonuçlar çalışmanın ilk sonuçlar olup istasyonlar daha fazla deprem kaydı aldığı anda çalışma güncellenecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan mikrotremor ölçümleri AFAD Ulusal Deprem Araştırma Programı UDAP-G-15-04 projesi kapsamında alınmıştır. Ölçümlerin alınması sırasında görevli Jeofizik Mühendislerine, deprem verilerinin kaydedilmesi ve arşivlenmesini sağlayan Deprem Dairesi Personellerine, olumlu eleştirileri ile çalışmaya katkı koyan hakemlere ve çevirideki katkıları için kuzenim Burcu KOÇ ve arkadaşım Selim SEZER'e değerli zamanlarını bu çalışma için paylaştıkları için eşim Gülten ve oğlum ÇINAR'a sonsuz teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

AFAD, 2020. Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı (TR-KYH), Ankara.

Erişim adresi: <https://tadas.afad.gov.tr>

Akbaş B., Akdeniz N., Aksay A., Altun İ.E., Balcı V., Bilginer E., Bilgiç T., Duru M., Ercan T., Gedik İ., Günay Y., Güven İ.H., Hakyemez H.Y., Konak N., Papak İ., Pehlivan Ş., Sevin M., Şenel M., Tarhan N., Turhan N., Türkecan A., Ulu Ü., Uğuz M.F., Yurtsever A. ve diğerleri, 2011. Turkey Geology Map, General Directorate of Mineral Reserach and Exploration Publications. Ankara-Turkey.

Erişim adresi: <http://yerbilimleri.mta.gov.tr>

Alcik H., 2018. Investigation of local site responses at the Bodrum peninsula (southwest of Turkey) using the mainshock and aftershocks of the 20 July 2017 Mw6.6 Bodrum-Kos earthquake, *Annals of Geophysics* 61(3), SE339.

Ambraseys N.N., Finkel C., 1995. The seismicity of Turkey and adjacent areas. A historical review 1500-1800, Eren Yayınları, İstanbul.

Ateş E., Uyanık O., 2019. Jeofizik Yöntemler ile Yer ve Yapı Etkileşimi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 23, 46-60.

Bonilla L.F., Steidl J.H., Lindley G.T., Tumarkin A.G., Archuleta R.J., 1997. Site amplification in the San Fernando Valley, California: variability of site effect estimation using S-wave, coda, and H/V methods, *Bulletin of the Seismological Society of America* 87, 710-730.

Emre O., Duman T.Y., Ozalp S., Elmaci H., Olgun S., Saroglu F., 2013. 1/1.250.000 scaled Turkey active fault map, General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication

Eyidoğan H., Güçlü U., Utku Z., Değirmenci E., 1991. Türkiye Büyük Depremleri Makro-Sismik Rehberi (1900-1988), İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Gok E., Chavez-Garcia F.J., Polat O., 2014. Effect of soil conditions on predicted ground motion: Case study from Western Anatolia, Turkey, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 229, 88-97.

Irikura K., Iwata T., Sekiguchi H., Pitarka A., 1996. Lessons from the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake: why where such destructive motions generated to buildings?, *Journal of Natural Disaster Science* 17(2), 99-127.

Kurtulus C., Sertcelik F., Sertcelik I., Kuru T., Tekin K., Ates E., Apak A., Kokbudak D., Sezer S., Yalcin D., 2020. Determination of site characterization in Turkey strong motion recording stations. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 35(4), 1829-1846.

Langston C.A., 1977. Corvallis, Oregon, crustal and upper mantle receiver structure from teleseismic P and S waves, *Bulletin of the Seismological Society of America* 67, 713-724.

Lermo J., Chavez G.F.J., 1993. Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios with Only One Station, *Bulletin Seismological Society of America* 83,1574–1594.

Livaoğlu H., 2015. Kocaeli-Gölcük-Değirmendere Bölgesi için Zemin Hakim Frekansı-Sediman Kalınlığı İlişkisinin ve Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 70s, Kocaeli.

Nakamura Y., 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface. *Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute* 30(1), 25-33.

Özer C., 2019. Erzurum ve Çevresi Yerel Zemin Etkilerinin SSR ve HVSR Yöntemleri Kullanılarak Araştırılması, *DEU FMD* 21(61), 247-257.

Pamuk E., 2019. Investigation of the local site effects in the northern part of the eastern Anatolian region, Turkey, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* 60 (4), 549-568.

Perk S., Ozer C., 2019. İvme-Ölçer istasyonları altındaki Zemin Özelliklerinin Deprem Kaydı Kullanılarak İncelenmesi: Hatay Örneği, Türkiye, *Turkish Journal of Earthquake Research* 1 (2), 167-179.

SESAME, 2004. Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations, Measurements Processing and Interpretation, European Research Project.

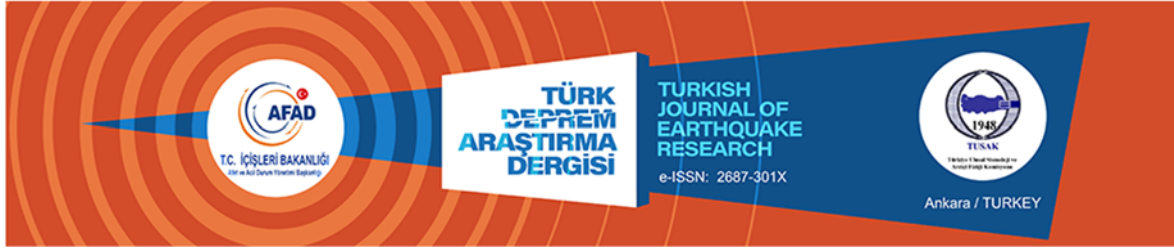
TDTH, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, Ankara. Erişim adresi: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>

Yalçınkaya E., 2005. BYT-Net (Bursa-Yalova-Türkiye İvme Ölçer Ağı) İstasyonlarında Yerel Zemin Etkilerinin İncelenmesi, *Fen ve Mühendislik Dergisi* 7(2), 75-86.

Yalçınkaya E., 2010. Zemin neden bu kadar önemli, *Jeofizik Bülteni* 63,77-80.

Yaşar H.H., 1912-1928. Amasya tarihi, 4 cilt, Necm-i İstikbal Matbaası, İstanbul, 846 p.

Tuncel A., Ozdag O.C., Pamuk E., Akgun M., 2019. Calculation of the soil dynamic amplification factor values by using microtremor data: A case study in Izmir (North), *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 34(1), 43-52.



The Evaluation of the Effective Parameters on the Geotechnical Design of Reinforced Concrete Retaining Walls According to the Turkish Building Earthquake Code 2018

Ilknur Dalyan¹, Muhammed Selahaddin Akin² and Zulal Akbay Arama³

¹Disaster and Emergency Management Presidency, Cankaya 06800 Ankara

²Kartal Municipality, Kartal 34862 Istanbul

³Istanbul University-Cerrahpasa, Engineering Faculty, Civil Engineering Division, Avcilar 34320 Istanbul
ORCID: 0000-0001-6436-7109, 0000-0003-1980-1812, 0000-0001-8185-7329

Keywords

Reinforced Concrete Retaining Walls, Geotechnical Design, Turkish Building Earthquake Code, Earthquake Resistant Design

Highlights

- * Earthquake resistant design of retaining walls
- * Turkish Building Earthquake Code 2018
- * The effective parameters of geotechnical design of retaining walls

Acknowledgements

--

Aim

In this study, the effects of the soil properties on the geotechnical design of reinforced concrete retaining walls are investigated depending on the conducted parametrical analysis based on the Turkish Building Earthquake Code 2018. The dimensions obtained from the dynamic analysis were also compared with the retaining wall preliminary design limits accepted in the literature.

Location

Turkey

Methods

The effects of the soil properties on the geotechnical design of reinforced concrete retaining walls are investigated by conducted parametric analysis depending on Turkish Building Earthquake Code 2018.

Results

Comparative charts are obtained to show the effects of the change of the soil shear strength angle, the soil unit weight, the excavation depth and the amount of external surcharge load on the sizing of the wall system with respect to Turkish Building Earthquake Code 2018.

Supporting Institutions

--

How to cite

Dalyan I., Akin M.S., Akbay Arama Z., 2020. The Evaluation of the Effective Parameters on the Geotechnical Design of Reinforced Concrete Retaining Walls According to the Turkish Building Earthquake Code 2018, *Turk. J. Earthq. Res.* 2 (2), 176-192, <https://doi.org/10.46464/tdad.804289>

Manuscript

Research Article

Received: 02.10.2020

Revised: 07.10.2020

Accepted: 12.11.2020

Printed: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.804289

Corresponding Author

Ilknur Dalyan

Email: ilknur.dalyan@afad.gov.tr

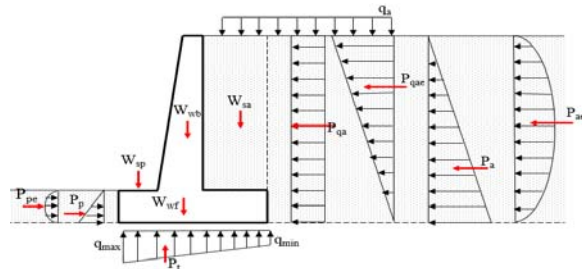


Figure
Stresses or loads acting along a T-shaped cantilever retaining wall



Betonarme İstinat Duvarlarının Geoteknik Tasarımında Etkili Parametrelerin 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Değerlendirilmesi

İlknur Dalyan¹, Muhammed Selahaddin Akın² ve Zülal Akbay Arama³

¹Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Çankaya 06800 Ankara

²Kartal Belediyesi, Kartal 34862 İstanbul

³İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Avcılar 34320 İstanbul
ORCID: 0000-0001-6436-7109, 0000-0003-1980-1812, 0000-0001-8185-7329

ÖZET

Bu makale kapsamında, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin 16. Bölüm esaslarına dayanarak, betonarme istinat duvarlarının geoteknik tasarımında zemin özelliklerinin etkileri, yapılan parametrik analizler ile incelenmiştir. Bu bağlamda, duvar geri dolgusunun tamamen granüler zeminlerden oluştuğu ve duvar temelinin kohezyonlu zemine oturduğu varsayılarak, istinat duvarının dinamik tasarımında zemin birim hacim ağırlığının, kayma mukavemeti açısının, kazı derinliğinin ve sürüş yükünün istinat duvarının boyutlarına etkisi irdelenmiştir. İstinat duvarının boyutlandırılmasında "TS 7994 Zemin Dayanma Yapıları: Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları" standardında yer alan kayma, devrilme ve zeminin taşıma gücü için tanımlanmış kurallar uygulanmıştır. Yapılan dinamik analizler sonucunda elde edilen boyutlar, literatürde kabul gören istinat duvarı ön tasarım boyutlandırma sınırları ile de karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler

Betonarme İstinat Duvarları, Geoteknik Tasarım, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018), Depreme Dayanıklı Tasarım

Öne Çıkanlar

- * İstinat duvarlarının depreme dayanıklı tasarımı
- * 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
- * İstinat duvarlarının geoteknik tasarımında etkili parametreler

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 02.10.2020
Düzeltilme: 07.10.2020
Kabul: 12.11.2020
Basım: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.804289

Sorumlu yazar

İlknur Dalyan
Eposta:
ilknur.dalyan@afad.gov.tr

The Evaluation of the Effective Parameters on the Geotechnical Design of Reinforced Concrete Retaining Walls According to the Turkish Building Earthquake Code 2018

İlknur Dalyan^{1,*}, Muhammed Selahaddin Akın² and Zülal Akbay Arama³

¹Disaster and Emergency Management Presidency, Çankaya 06800 Ankara

²Kartal Municipality, Kartal 34862 İstanbul

³Istanbul University-Cerrahpaşa, Engineering Faculty, Civil Engineering Division, Avcılar 34320 İstanbul
ORCID: 0000-0001-6436-7109, 0000-0003-1980-1812, 0000-0001-8185-7329

ABSTRACT

In this paper, the effects of the soil properties on the geotechnical design of reinforced concrete retaining walls are investigated depending on the conducted parametrical analysis based on the Turkish Building Earthquake Code 2018- Part 16. In this connection, the effects of the change of the unit weight of the backfill soil, the shear strength of the backfill soil, the excavation depth and the external surcharge load on the dynamic design of retaining walls is examined with the assumption of the formation of the backfill soil as pure frictional and the foundation as soil pure cohesive. The rules that are defined for sliding, overturning and soil bearing capacity adequateness of the wall system based on "TS 7994 Soil Retaining Structures: Classification, Properties and Projecting Principles" are used to size the wall system. The dimensions which are obtained as the result of the dynamic analysis were compared with the retaining wall preliminary design limits accepted in the literature.

Keywords

Reinforced Concrete Retaining Walls, Geotechnical Design, Turkish Building Earthquake Code, Earthquake Resistant Design

Highlights

- * Earthquake resistant design of retaining walls
- * Turkish Building Earthquake Code 2018
- * The effective parameters of geotechnical design of retaining walls

Manuscript

Research Article

Received: 02.10.2020
Revised: 07.10.2020
Accepted: 12.11.2020
Printed: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.804289

Corresponding Author

İlknur Dalyan
Email:
ilknur.dalyan@afad.gov.tr

1. GİRİŞ

İstinat duvarları eğimli toprak kütlelerinin dengesini sağlamak veya arttırmak için kullanılan yapısal sistemlerdir (Gandomi ve diğ. 2015). Bu dayanma yapıları, genellikle köprüler, ulaşım sistemleri gibi yapısal uygulamalarda alt yapının ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadırlar. İstinat yapılarının tasarımında stabilite ve yapısal dayanım gereksinimleri dikkate alınmalıdır (Das 2010, Kaveh ve diğ. 2013). Bu yapılar, dolgu toprağını güvenli bir şekilde destekleyecek, kayma ve devrilmeye karşı stabilite sağlayacak, yapı ve topraktaki gerilmeleri sınırlandıracak ve tüm göçme şekilleri için güvenlik faktörlerinin kabul edilebilir sınırlarda kalmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır (Camp ve Akin 2012, Talatahari ve Sheikholeslami 2014). Betonarme konsol istinat duvarı en yaygın inşa edilen istinat yapılarıdır ve deprem etkisi altında bir istinat duvarının tasarımı karmaşık bir mühendislik problemidir. Bu durumda deprem etkisi altında tasarlanacak istinat duvarlarına statik zemin basınçlarının yanında dinamik zemin basınçları da etki etmektedir (Arslan ve diğ. 2018).

Literatürde, dinamik zemin basınçlarını da göz önüne alarak tasarlanan ve tasarım üzerinde etkili faktörleri değerlendiren birçok çalışma mevcuttur. Bilgin (2006) tarafından yapılan çalışmada devrilme, kayma, göçme güvenliklerini sağlayacak şekilde statik veya dinamik yükler altında istinat duvarlarının tasarımı için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Farklı zemin etkilerine sahip istinat duvarlarının depremlili ve depremsiz durumda analizleri gerçekleştirilmiş ve duvarların davranışları karşılaştırılmıştır. Gürsoy (2013), DBYBHY-2007 ve Eurocode 8 yönetmeliklerine göre istinat duvarlarının deprem etkisi altındaki tasarımını karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik esaslarına göre istinat duvarlarının depreme dayanıklı tasarımı için tasarım spektrumlarındaki zemin parametrelerinin göz önüne alınması gerektiği sonucuna varmıştır. Çakır (2016) çalışmasında sonlu elemanlar yöntemi kullanarak dolgu zemin özelliklerinin değişiminin konsol bir istinat duvarının sismik tepkisi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Dört farklı dolgu zemininde doğrusal olmayan analizler yaparak yer değiştirme ve gerilmeleri belirlemiş ve değişen zemin koşulları ile yanal yer değiştirmelerin ve gerilmelerin maksimum değerlerinin değiştiğini belirtmiştir. Kayhan ve Demir (2018), diferansiyel gelişim algoritması kullanarak betonarme konsol istinat duvarlarının optimum tasarımını yapmışlardır. Tasarımda statik ve depremlili durumdaki dinamik zemin etkilerinin yanı sıra düşey yükleri de göz önüne almışlardır. Diferansiyel gelişim algoritmasının betonarme konsol istinat duvarlarının optimum tasarımında etkili bir yol olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Temür ve Bekdaş (2018) yaptıkları çalışmada statik ve dinamik yükler altındaki betonarme konsol istinat duvarlarının optimum tasarımı için bir yöntem önermişlerdir. İstinat duvarı gövde ve ön ampatman kalınlığının ve farklı deprem yüklerinin duvar maliyetine etkisini de incelemişlerdir. Binici ve Öztürk (2019), istinat duvarının geri dolgu zeminin, özellikle birim hacim ağırlığı değerinin duvarın taban genişliğine olan etkisini araştırmışlardır. Duvar yüksekliği ve dolgu birim hacim ağırlığı arttıkça taban genişliğinin arttığını belirtmişlerdir. Tuğrul (2019), TBDY 2018 ve DBYBHY 2007'ye göre istinat duvarlarına etkiyen dinamik zemin etkilerini karşılaştırmıştır. Bunun için 3 farklı duvar modelini göz önüne almıştır. Deprem tehlikesinin artmasının DBYBHY 2007'den elde edilen sonuçları TBDY 2018'den elde edilen sonuçlara göre daha fazla etkilediği sonucuna varmıştır.

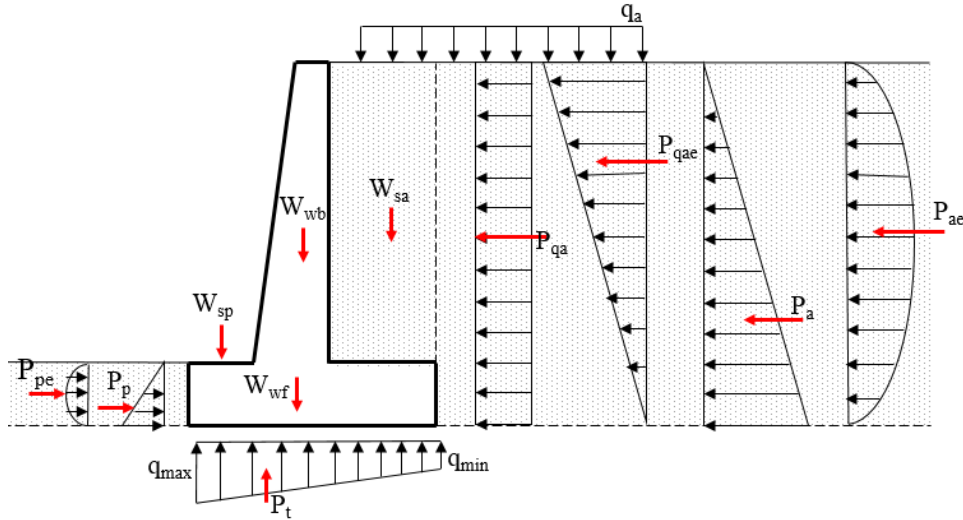
Bu çalışmada, betonarme istinat duvarlarının dinamik tasarımında Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) uygulama esasları kullanılmış olup, istinat duvarlarının boyutlandırılmasında Zemin Dayanma Yapıları: Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları (TS 7994) standardında yer alan kayma, devrilme ve zeminin taşıma gücü için tanımlanmış kurallar uygulanmıştır. İstinat duvarlarının geoteknik tasarımı üzerinde zemin özelliklerinin etkileri, geri dolgunun birim hacim ağırlığı ve kayma mukavemeti açısı değişimine bağlı olarak incelenmiştir. Aynı zamanda, desteklenen kazı derinliğinde ve geri dolgu üzerinden etkiyen sürşarj yükünün miktarındaki artıma bağlı olarak boyutlarda meydana gelen farklılık oranı da değerlendirmeye alınmıştır. Dinamik kuvvetler etkisi altında tasarlanan istinat duvarlarının boyutları, literatürde önerilen ve uygulamalarda sıklıkla kullanılan ön tasarım

boyutlandırma kriterleri ile de karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda makalenin ikinci bölümünde bahsi geçen yönetmeliklere ait uygulama detayları paylaşılmış, üçüncü bölümünde parametrik analizlerde kullanılan özellikler tanımlanmış ve dördüncü bölümde tasarım değişkenlerinin etkileri karşılaştırmalı bir şekilde yorumlanmıştır.

2. YÖNTEM

Şekil 1’de konsol bir istinat duvarı ve bu duvara etkiyen yükler gösterilmiştir. W_{wb} istinat duvarının gövde ağırlığını, W_{wf} istinat duvarının temel ağırlığını, W_{sp} ön ampatman üzerindeki zeminin ağırlığını, W_{sa} arka ampatman üzerindeki zeminin ağırlığını, q_a geri dolgu üzerinden etkiyen sürşarj yükünü, P_{qa} sürşarj yükü sebebi ile oluşan aktif toprak basıncını, P_{qae} depremlı durumda sürşarj yükünden oluşan aktif toprak basıncını, P_a statik durumda aktif toprak basıncını, P_{ae} depremlı durumdaki aktif toprak basıncını, P_p statik durumda pasif toprak basıncını, P_{pe} depremlı durumdaki pasif toprak basıncını P_t taban kesme kuvvetini temsil etmektedir.

Aktif ve pasif toprak basınçlarının hesabında kullanılan yatay statik-eşdeğer deprem katsayısı k_h ve düşey *statik-eşdeğer deprem katsayısı* k_v Denklem 1’de verilmiştir.



Şekil 1: T kesitli bir konsol istinat duvarına etki eden yükler

$$k_h = \frac{0.4S_{DS}}{r} \quad (1a)$$

$$k_v = 0.5k_h \quad (1b)$$

Denklem 1a’daki S_{DS} (kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı) değeri Türkiye Deprem Tehlike Haritası’ndan elde edilen S_S değerine göre hesaplanmaktadır. S_{DS} zemin sınıfına göre farklılık göstermektedir. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) değeri denklem 2’de verilmiştir.

$$S_{DS} = S_S F_S \quad (2)$$

Denklem 2'deki S_S değeri Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan (TDTH 2018) elde edilen harita spektral ivme katsayısı, F_S ise kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısıdır. F_S değerleri yerel zemin sınıfı ve S_S değerlerine bağlı olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Denklem 1a'da verilen r katsayısı değerleri değişik dayanma yapısı tipleri için Tablo 2'de verilmiştir.

İstinat duvarına etkiyen toplam (statik ve dinamik) toprak basıncının bileşkesi Denklem 3'te verilmiştir.

$$P_t = K(1 \mp k_v) \left(\frac{1}{2} \gamma^* H^2 + qH \right) + P_{su} + \Delta P_{su} \quad (3)$$

Burada K toplam (statik+dinamik) aktif (K_a) veya pasif (K_p) toprak basıncı katsayısını, k_v düşey statik-eşdeğer deprem katsayısını, γ^* zeminin tipik birim hacim ağırlığının, H duvar yüksekliğini, q sürşarj yükünü, P_{su} ve ΔP_{su} ise bileşke statik ve dinamik su basınçlarını göstermektedir. İstinat duvarının arkasındaki su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda zemin birim hacim ağırlığı γ^* 'ın değeri zemin tabii birim hacim ağırlığı γ 'ya eşit olarak alınmaktadır.

Tablo 1: Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları (TBDY 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

Tablo 2: Dayanma Yapıları için r katsayıları (TBDY 2018)

Dayanma Yapısının Tipi	r
En fazla $120S_{Ds}$ (mm) yerdeğiştirmeye izin verilen ağırlık tipi duvarlar	2.0
En fazla $80S_{Ds}$ (mm) yerdeğiştirmeye izin verilen ağırlık tipi duvarlar	1.5
Ankrajlı duvarlar, yerdeğiştirmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar	1.0

$\beta \leq \phi'_d - \theta$ olması durumunda, toplam aktif basınç katsayısı (K_a), Denklem 4 ile hesaplanmaktadır. Burada, ψ duvarın yataya göre (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) ölçülen açısını, ϕ'_d zeminin tasarım kayma direnci açısını, δ_d zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısını, β ise duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısını göstermektedir.

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta_d) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (4)$$

Toplam pasif basınç katsayısı (K_p), zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı varsayılarak, Denklem 5 ile hesaplanmaktadır. Hesaplanan K_p değeri statik ve dinamik etkileri içermektedir.

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin \phi'_d \sin(\phi'_d + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \theta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (5)$$

İstinat duvarının arkasındaki su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda sismik açı (θ) denklem 6'da verilmiştir.

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 \mp k_v} \right] \quad (6)$$

Statik durumda devrilme tahkiki için kullanılacak güvenlik katsayısı ($Fs_{devrilme}$) Denklem 7'deki koşulu sağlamalıdır.

$$Fs_{devrilme} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} \geq 2.5 \quad (7)$$

Depremler durumunda istinat duvarının devrilmeye karşı güvenli olması için Denklem 8'deki koşul sağlanmalıdır.

$$\gamma_{Rdev} = \frac{R_{dev}}{E_{dev}} \geq 1.3 \quad (8)$$

Denklem 7 ve 8'de; $\sum M_R$, R_{dev} devrilmeye karşı direnen kuvvetlerin (duvarın zati ağırlığı, arka ampatman üzerindeki zemin ağırlığı ve sürşarj yükü) oluşturduğu momentlerin toplamını, $\sum M_o$, E_{dev} ise devrilmeye neden olan kuvvetlerin (duvar arkası aktif toprak basıncı) oluşturduğu momentlerin toplamını ifade etmektedir.

Statik durumda duvarın kaymaya karşı güvenliğinin olması için denklem 9'daki koşul sağlanmalıdır. Burada Fs_{kayma} kaymaya karşı güvenlik sayısı, $\sum F_{R'}$ kaymaya karşı koyan kuvvetler toplamı ve $\sum F_d$ kaymaya neden olan kuvvetlerin toplamını göstermektedir.

$$Fs_{kayma} = \frac{\sum F_{R'}}{\sum F_d} \geq 1.5 \quad (9)$$

Depremler durumunda duvarın kaymaya karşı güvenliğinin olması için denklem 10'daki koşul sağlanmalıdır.

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt} \quad (10)$$

Burada V_{th} temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvvetini, R_{th} tasarım sürtünme direncini, R_{pt} ise tasarım pasif direncini göstermektedir.

Tasarım sürtünme direnci (R_{th}) kohezyonlu zeminlerde (drenajsız durumda) denklem 11 ile hesaplanmaktadır.

$$R_{th} = \frac{A_c c_u}{\gamma_{Rh}} \quad (11)$$

Burada, A_c temel altında basınç gerilmelerinin olduğu toplam alanı, c_u drenajsız kayma dayanımını, γ_{Rh} sürtünme direnci dayanım katsayısı ifade etmektedir. γ_{Rh} sürtünme direnci dayanım katsayısı Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3: Yüzeysel Temeller İçin Dayanım Katsayıları (TBDY 2018)

Dayanımın Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri
Temel Taşıma Gücü	γ_{Rv}	1.4
Sürtünme Direnci	γ_{Rh}	1.1
Pasif Direnç	γ_{Rp}	1.4

Tasarım pasif direnci R_{pt} Denklem 12 ile hesaplanmaktadır. γ_{Rp} değeri Tablo 3'de verilmiştir.

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (12)$$

Burada, R_{pk} karakteristik pasif direnci, γ_{Rp} dayanım katsayısını ifade etmektedir. Karakteristik pasif direnci Denklem 13 ile hesaplanmaktadır.

$$R_{pk} = K_p(1-k_v)\left(\frac{1}{2}\gamma D^2\right) \quad (13)$$

Temelin taşıma gücü kontrolü denklem 14 ile yapılabilir.

$$0 < q_{min} \quad ; \quad q_{max} < q_a \quad (14)$$

Burada q_{min} temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi, q_{max} temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi, q_a ise zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücünü göstermektedir.

q_{min} ve q_{max} Denklem 15 ile hesaplanabilir. Burada e eksantrisiteyi, $\sum V$ düşey yükler toplamını, B ise toplam temel genişliğini ifade etmektedir.

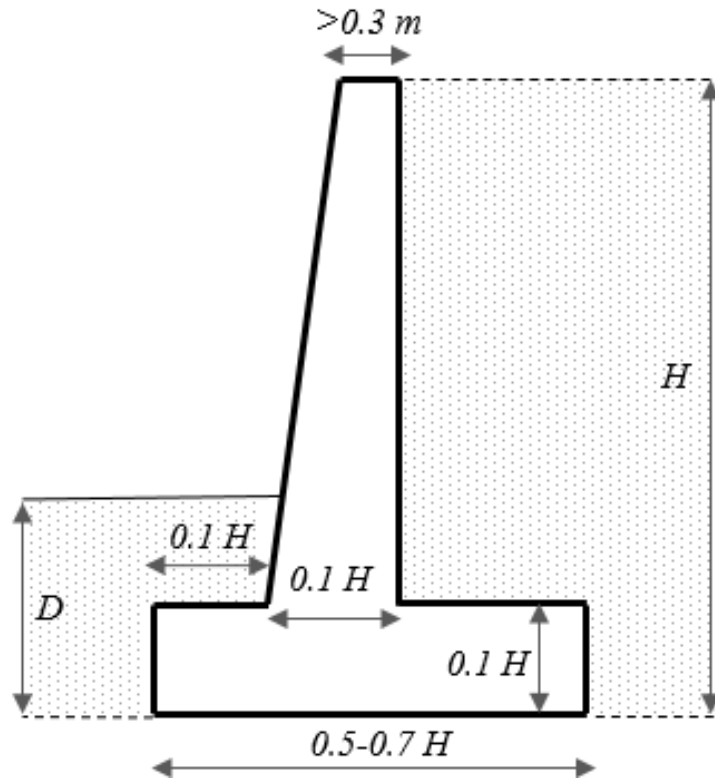
$$q_{max,min} = \frac{\sum V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \quad (15)$$

Eksantrisite,

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_0}{\sum V} \quad (16)$$

denklemlerle hesaplanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, yukarıda bahsi geçen tasarım kriterleri Microsoft Excel programı macro özellikleri kullanılarak formüle edilmiş ve aynı zamanda statik tasarım kriterleri de göz önüne alınarak boyutlandırma yapılmıştır. İlâveten, Şekil 2'de verilen ve literatürde kabul görmüş istinat duvarı ön boyutlandırma kriterlerine bağlı olarak (Azizi 1999), söz konusu öngörülen koşullar etkisi altında tasarlanabilecek minimum boyutlu duvar kesitleri elde edilmiştir. Bu yolla, dinamik koşullar etkisi altında tasarlanan duvar ile öntasarım kriterlerine göre tasarlanabilecek istinat duvarları arasında oluşacak göreceli boyutlandırma farklarına dikkat çekilmiştir.



Şekil 2: Konsol istinat duvarı ön tasarım kriterleri (Azizi 1999)

3. VERİ

Betonarme istinat duvarlarının dinamik tasarımına geoteknik parametrelerin etkilerinin değerlendirilmesi amacı ile yürütülen çalışmalar kapsamında, tamamen granüler zeminlerden oluştuğu varsayılan geri dolgu zeminin birim hacim ağırlığı değeri, (Bowles 1988) tarafından iri daneli zeminler için önerilen değerlerden seçilerek 16-18-20-22 kN/m³ kabul edilmiş, kayma mukavemeti açısı (Das 2007) tarafından önerilen 28-38° aralığında ikişer artımlı olacak şekilde öngörülmüştür. Kazı derinliğinin 4-6-8-10 metre ve sürşarj yükünün 0-10 kPa olması durumları da ayrıca değerlendirilmiştir. Kullanılan zemin profilinde yeraltı suyu varlığı dikkate alınmamıştır. İstinat duvarı temelinin kohezyonlu zemin üzerinde yer aldığı ve ilgili kohezyonlu zeminin drenajsız kayma dayanımı (c_u) değerinin 250 kN/m² olduğu varsayılmıştır. Kurgulanan tüm vaka analizlerinde duvar altında bulunan temel zemini özelliklerinin aynı

kaldığı varsayılmıştır. Duvar-zemin ara kesidinin düşeyle açığı yapılmadığı ve duvar arkası zemin yüzeyinin şev oluşturmadığı varsayılmıştır. Duvar arka yüzeyinin duvar tabanı ile yaptığı açığı ise dik olarak kabul edilmiştir. Betonun birim hacim ağırlığı 24 kN/m^3 olarak kullanılmıştır.

İncelenen betonarme istinat duvarlarının bulunduğu bölge için zemin sınıfının ZC olduğu varsayılmış ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH, 2018) kullanılarak DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi için bölgenin spektral ivme katsayıları $S_s=0.926$; $S_1=0.255$ olarak belirlenmiştir.

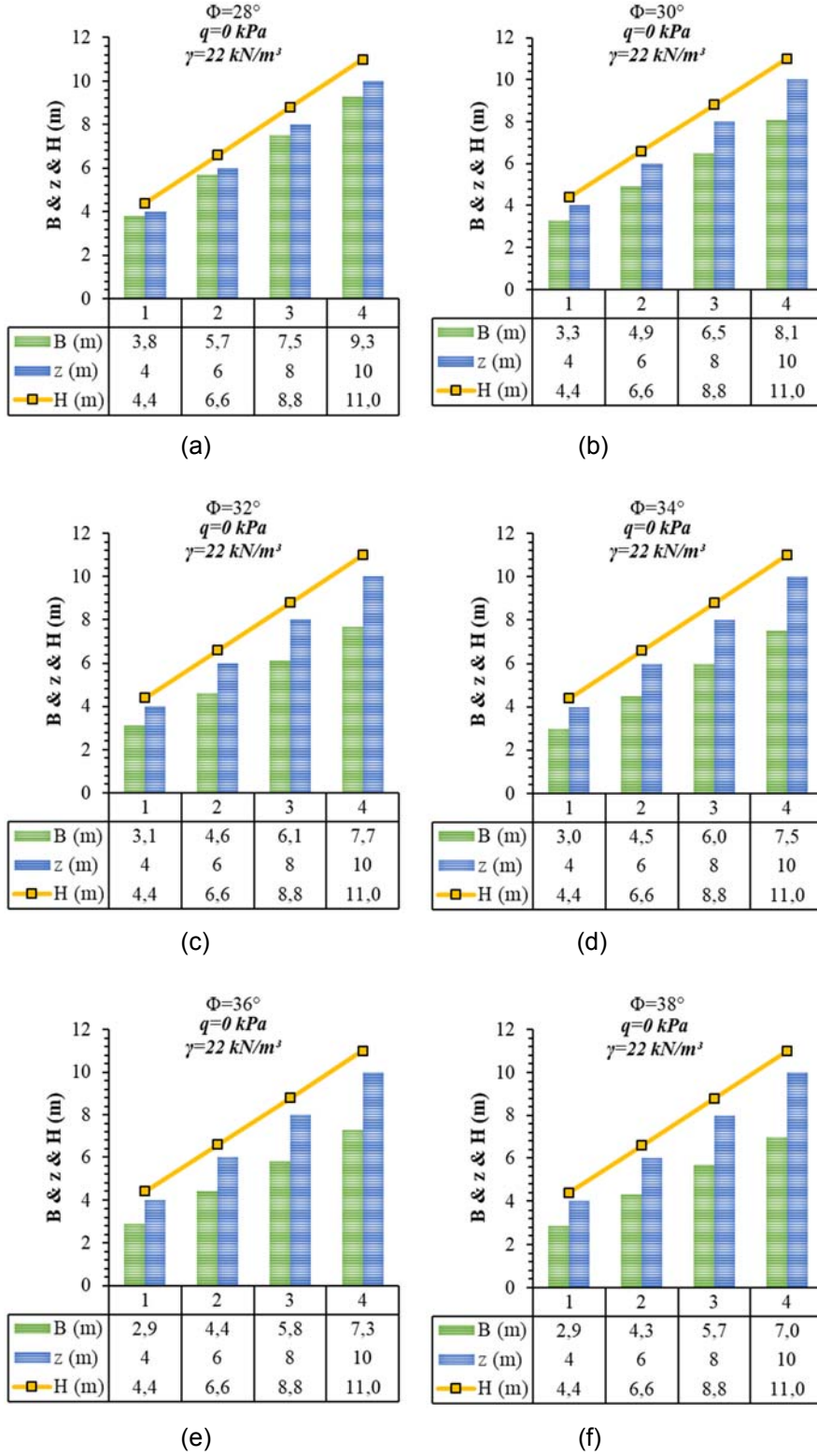
İstinat duvarlarının tasarımına (Azizi 1999) tarafından önerilen ön tasarım boyutlarından başlanmış ve stabilite analizlerinin sınır duruma geldiği koşulda elde edilen boyutlandırma ölçüleri, nihai tasarım boyutu olarak seçilmiş ve karşılaştırmalarda kullanılmıştır.

4. BULGULAR

Çalışma kapsamında toplamda 384 adet istinat duvarı boyutlandırma analizi gerçekleştirilmiş olup analiz sonuçları temel tabanı genişliği ve duvar yüksekliğindeki değişime bağlı olarak grafikler halinde sunulmuştur. Söz konusu analizlerdeki değişken ve veri sayısı fazlalığına bağlı olarak, seçilen bazı referans vakalar için değerlendirilmeler elde edilmiştir. Bu bağlamda, Şekil 3'te kayma mukavemeti açısından meydana gelen değişimin, TBDY 2018'e göre tasarlanan istinat duvarı boyutlarına etkileri incelenmiştir.

Şekil 3'te düşey ekseninde, duvar temeli genişliği (B), desteklenen kazı derinliği (z) ve toplam duvar boyu (H) değerlerinin sırası ile kayma mukavemeti açısının $28, 30, 32, 34, 36, 38^\circ$ olması durumlarında hesaplanan değerleri Şekil 3a-f'de oluşturulan pareto grafikleri ile sunulmuştur. Kayma mukavemeti açısının tasarıma etkilerinin değerlendirilmesi amacı ile yapılan bu analizlerde geri dolgu zeminin birim hacim ağırlığı sabit 22 kN/m^3 değerinde göz önüne alınmış ve sürşarj yükü etkisinin bulunmadığı düşünülmüştür. Öngörülen kazı derinlikleri ile orantılı olarak, Azizi (1999) tarafından önerilen minimum temel taban kalınlığı değeri olarak " $0.1 \cdot z$ " ön analizlerde başlangıç kalınlık değeri olarak kullanılmış ve tüm kayma mukavemeti açısı değeri değişimlerinde, ilgili temel kalınlığının denge koşullarını yeterli güvenlikte sağlayabildiği görülmüştür. Aynı zamanda, taban kalınlığı da artırılarak denge koşulları sorgulandığında elde edilen sonuçlar, odaklanması gereken faktörün, TBDY 2018'e göre yapılan tasarımlarda da temel genişliği olduğu yaklaşımını oluşturmuştur. Şekil 3 aynı zamanda kazı derinliğinin artmasının duvar boyutlarına etkisini de yansıtmaktadır. Beklendiği üzere, kazı derinliğindeki artım, her bir seçilen vakada, temel genişliğinin artmasına neden olmuştur. Kayma mukavemeti açısının $28, 30, 32, 34, 36, 38^\circ$ şeklinde artması ve kazı derinliğinin 4 metreden sırası ile 6, 8, 10 metrelere yükselmesi durumlarında ise duvar temel genişliğinde meydana gelen artım tüm değerlendirilen vakalarda yaklaşık olarak %50, %97, %145 oranlarındadır. Aynı zamanda, kayma mukavemeti açısının $28, 30, 32, 34, 36, 38^\circ$ şeklinde artması, minimum kayma mukavemeti açısı değerinde elde edilen temel genişliği değeri referans olarak değerlendirildiğinde, temel taban boyutlarını her bir aynı kazı derinliğinde ortalama olarak %13, %18, %20, %23, %24 oranlarında azalmasına sevk etmektedir. Geri dolgu malzemesine ait kayma mukavemeti değerinin değişmesi olgusu, duvar tasarımının ilk adımını oluşturan yatay toprak basınçlarının hesaplanmasından itibaren etkilidir.

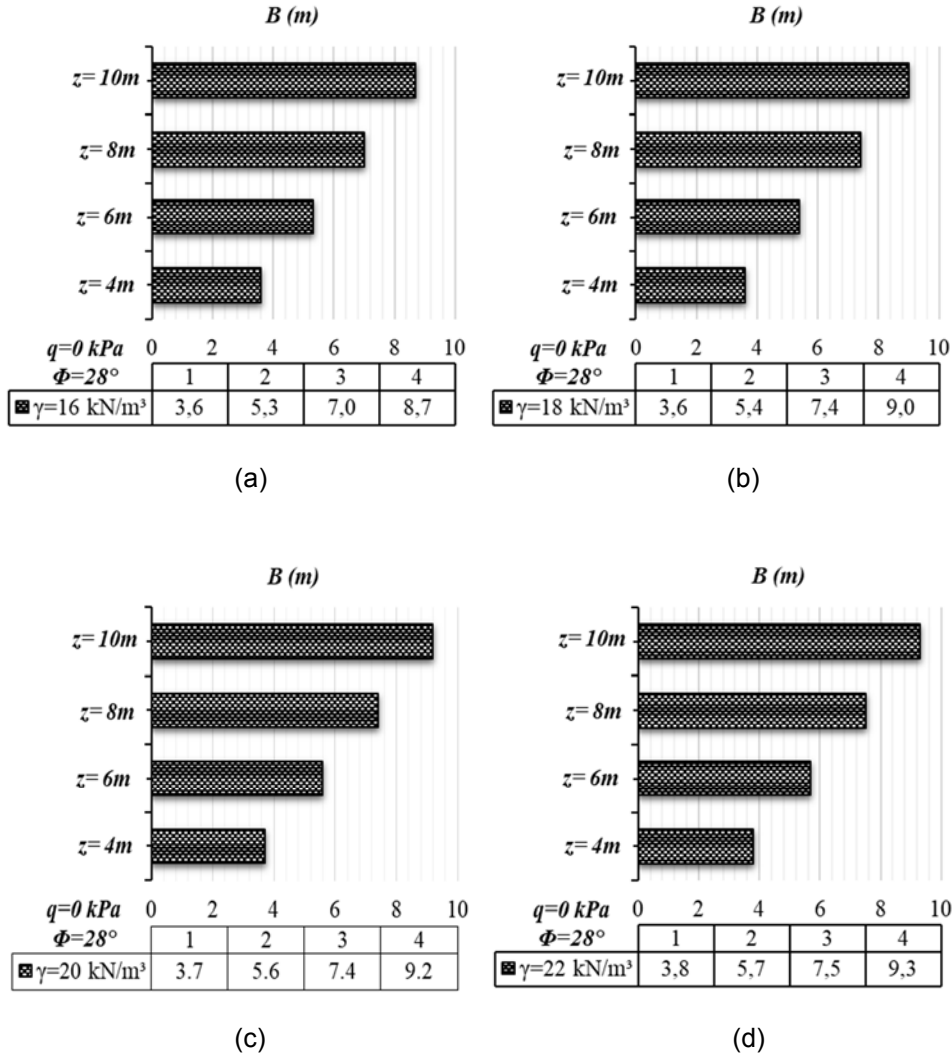
Bu durumda, kayma mukavemeti açısından meydana gelen herhangi bir artım, aktif toprak basıncı katsayısını düşürmekte ve dolaylı olarak zemin aktif gerilmelerinin de azalmasına yol açmaktadır. Bu durum, geri dolgu olarak seçilen malzemenin mukavemet özelliklerinin duvar boyutlarının seçilmesi üzerindeki etkilerini doğrudan yansıtmaktadır.



Şekil 3: İstinat duvarı tasarımının kayma mukavemeti açısına bağlı değişimi (a) $\Phi=28^\circ$, (b) $\Phi=30^\circ$, (c) $\Phi=32^\circ$, (d) $\Phi=34^\circ$, (e) $\Phi=36^\circ$, (f) $\Phi=38^\circ$

Şekil 4'te geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığı değerinin değişiminin temel genişliği üzerindeki etkileri kazı derinliğine bağlı olarak gösterilmiştir. Şekil 4a-d'de sırası ile 16, 18, 20, 22 kN/m³ birim hacim ağırlığı değerleri sabit bir kayma mukavemeti açısı değeri (28°) için değerlendirilmiştir. Birim hacim ağırlığının etkisinin gözlemlenebilmesi için grafik yatay ve düşey eksenleri aynı değer aralığında numaralandırılmıştır. Geri dolgu malzemesinin birim

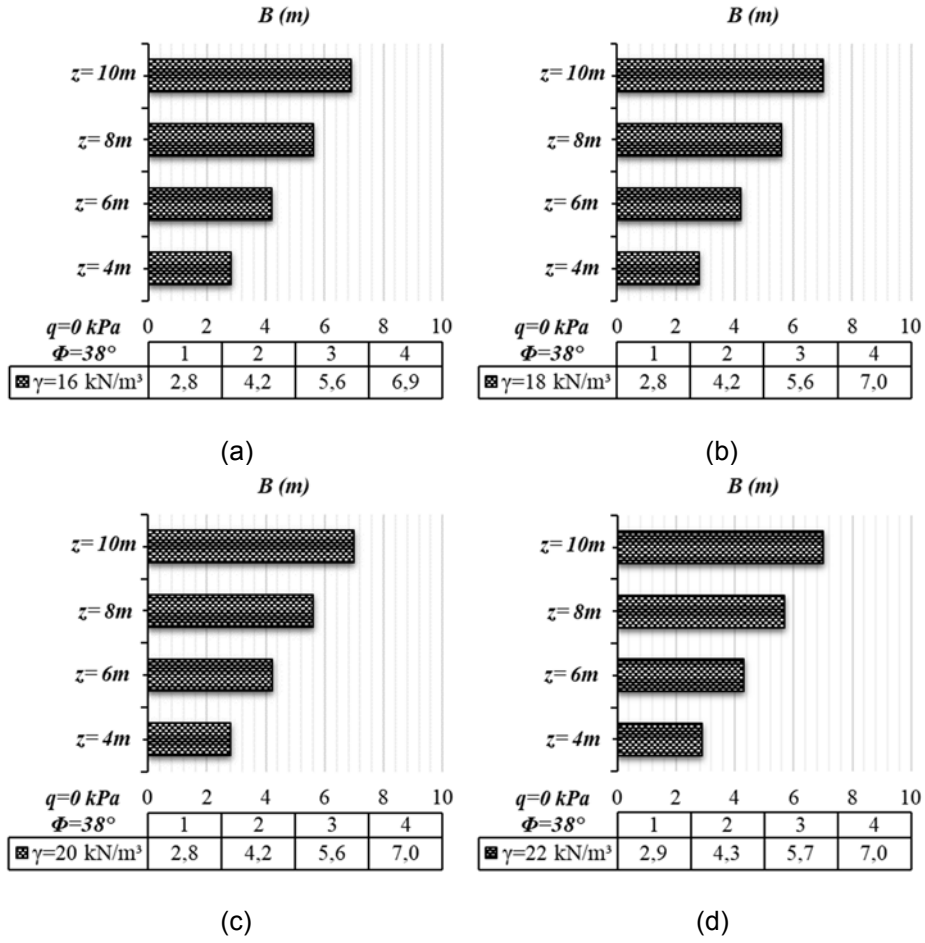
hacim ağırlığındaki artış, duvar kesitine etkiyen zemin gerilmelerinin artışına neden olarak, beklenildiği üzere, duvar temel genişliğinin artışına neden olmuştur.



Şekil 4: İstinat duvarı temel taban genişliğinin zemin birim hacim ağırlığına bağlı değişimi ($\Phi=28^\circ$), (a) $\gamma=16$ kN/m³, (b) $\gamma=18$ kN/m³, (c) $\gamma=20$ kN/m³, (d) $\gamma=22$ kN/m³

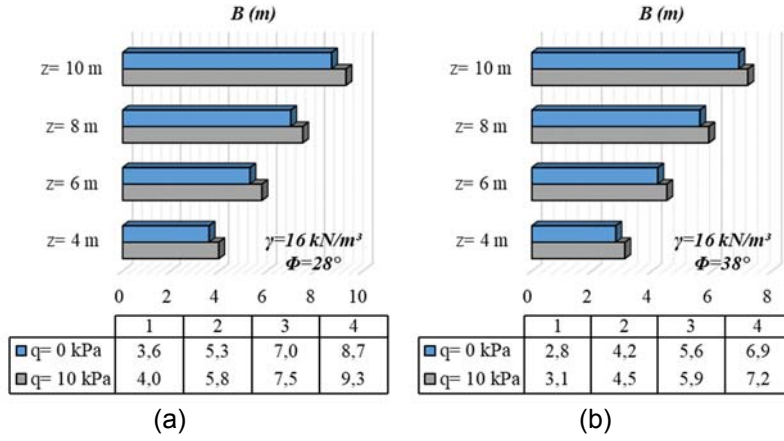
Ancak söz konusu artış, değerlendirilen minimum birim hacim ağırlığı değeri olan 16 kN/m³'ten maksimum birim hacim ağırlığı değeri olan 22 kN/m³'e çıkması durumunda dahi en yüksek %7 oranında bir değişime sebep olmuştur. Bu artış açısından dikkat çeken bir unsur da, maksimum boyut değişiminin en derin kazı kotunda meydana gelmiş olmasıdır. Nispeten yüzeysel olan kazı derinliklerinde, geri dolgu zemin birim hacim ağırlığının duvar temel genişliği üzerindeki etkisi çok daha azdır.

Şekil 5'te ise kayma mukavemeti açısının 38° olması durumunda zemin birim hacim ağırlığındaki değişimin etkileri sunulmuştur. Kayma mukavemeti açısının artması birim hacim ağırlıkta meydana gelen artımın neden olabileceği boyut farklılıklarını önlemiştir. Birim hacim ağırlığı değerinin en düşükten (Şekil 5a-d) en yüksek değerine çıkması durumunda, bu analizler kapsamında öngörülen en derin kazı kotu için meydana gelen maksimum farklılık ortalama %1 olarak elde edilmiştir. Boyutlarda meydana gelen bu değişim oranları, istinat duvarlarının deprem etkisi altındaki tasarımlarında, kayma mukavemeti açısındaki değişimin birim hacim ağırlıkta meydana gelen değişimden daha etkili olduğunu göstermektedir.



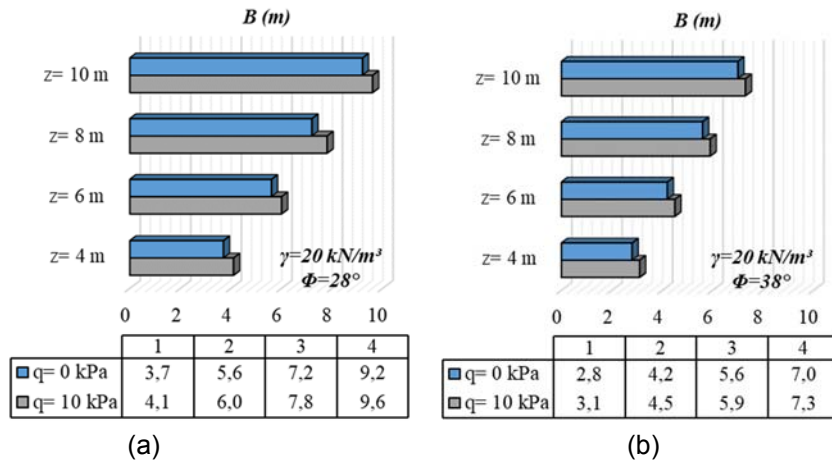
Şekil 5: İstinat duvarı temel taban genişliğinin zemin birim hacim ağırlığına bağlı değişimi ($\Phi=38^\circ$), (a) $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$, (b) $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, (c) $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, (d) $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

Şekil 6'da istinat duvarının TBDY 2018'e göre tasarımında, geri dolgu üzerine sürşarj yükü etkimesi durumunda tasarımda meydana gelen değişim gösterilmiştir. Sürşarj yükünün bulunmaması ve sürşarj yükünün 10 kPa değerine yükselmesi durumlarında, sabit geri dolgu birim hacim ağırlığı (16 kN/m^3), 4-6-8-10 metre kazı derinlikleri ve 28 ile 38° kayma mukavemeti açılarındaki temel taban genişliğinde oluşan farklılıklar sırası ile Şekil 6a ve b'de verilmiştir. Her iki değerlendirilen vakada da, sürşarj yükü değerinin artması temel taban genişliğinin artmasına neden olmuştur. Bu durum, duvar kesitine geri dolgu (aktif taraf) tarafından etkiyen yükün, yatayda derinlikle sabit kalan ve doğrusal seyreden bir gerilme artmasına neden olmasından ileri gelmektedir. Söz konusu yük artışı, nispeten az olan kayma mukavemeti açısından (Şekil 6a), 4 metre kazı derinliğinden 10 metre kazı derinliğine %11 oranından %7 oranına kadar boyut değişimine sebebiyet vermiştir. Kayma mukavemeti açısının 38° olması durumunda (Şekil 6b) kazı derinliğinin 4 metreden 10 metreye yükselmesi %11 oranından %4 oranına kadar boyut değişimi oluşturmuştur. Sürşarj yükünde meydana gelen bu artış, yüksek kayma mukavemeti açılarındaki kazı derinliğinin artması ile meydana gelebilecek boyut değişikliğini azaltmaktadır.



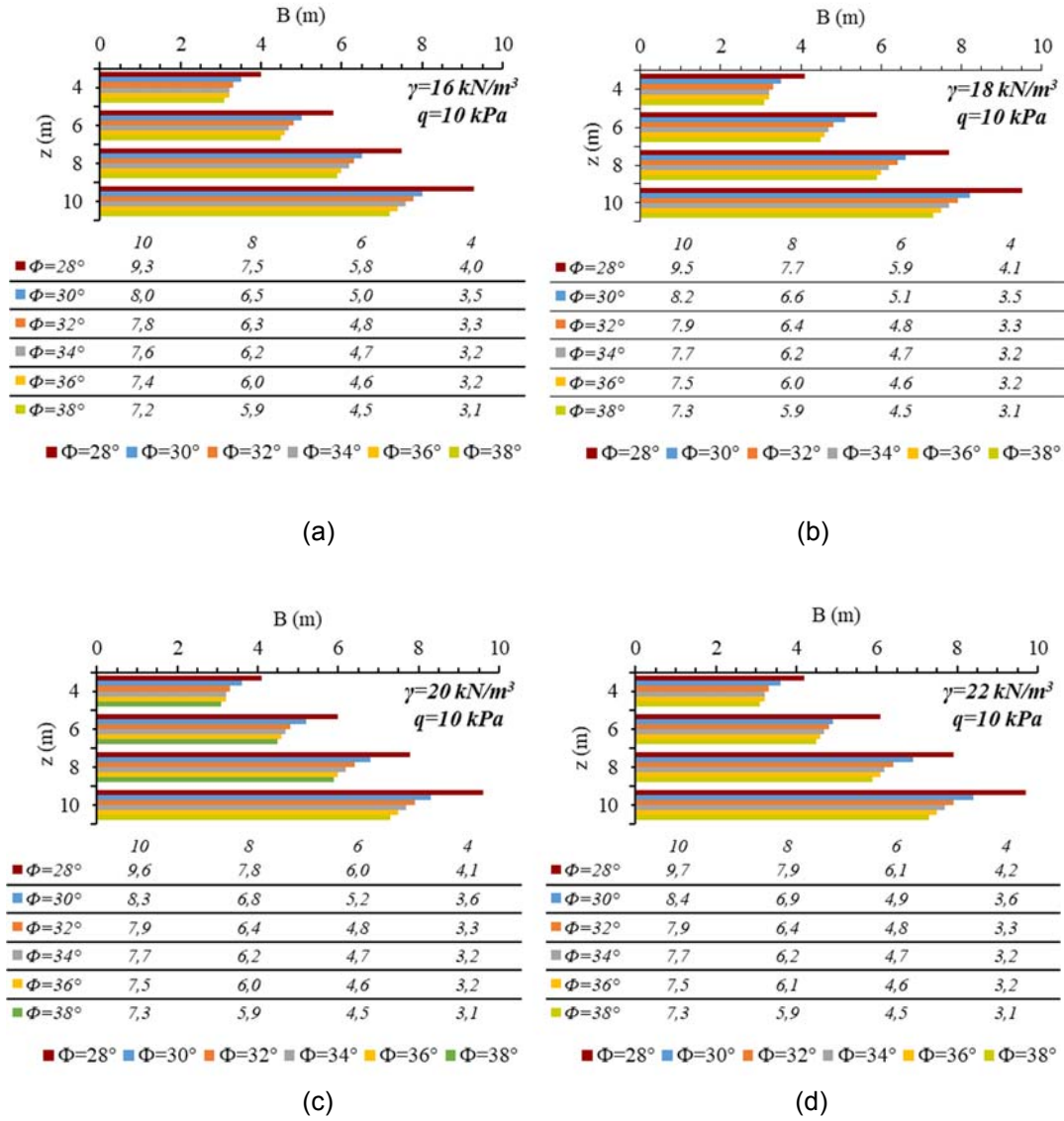
Şekil 6: İstinat duvarı temel taban genişliğinin sürşarj yüküne bağlı değişimi ($\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$), (a) $\Phi = 28^\circ$, (b) $\Phi = 38^\circ$

Şekil 7'de ise sürşarj yükünün değişim etkisi geri dolgu malzemesi birim hacim ağırlığının 20 kN/m^3 değerine artması durumu için gösterilmiştir. Sürşarj yükünün artmasının yanı sıra birim hacim ağırlığı değerinin de artması durumu, Şekil 6a ve Şekil 7a'da verilen değerlerin karşılaştırılması ile yorumlanabilmektedir. Söz konusu yük artışı, nispeten az olan kayma mukavemeti açısında (Şekil 7a), 4 metre kazı derinliğinden 10 metre kazı derinliğine %11 oranından %4 oranına kadar boyut değişimine sebebiyet vermiştir. Bu durum, zemin birim hacim ağırlığının artmasının sürşarj yükü ile etkileşimli olarak değerlendirilmesi sonucunda, boyutlarda meydana gelebilecek derinlikle değişim oranını azalttığı sonucunu doğurmaktadır. Kayma mukavemeti açısının 38° olması durumunda ise (Şekil 7b) kazı derinliğinin 4 metreden 10 metreye yükselmesi %11 oranından %4 oranına kadar boyut değişimi oluşturmuştur. Bu boyut değişimi Şekil 6b'de elde edilen değişim ile aynıdır. Dolayısı ile göreceli olarak yüksek olan kayma mukavemeti açıları, birim hacim ağırlığında meydana gelen değişimin temel boyutlarındaki değişime etki oranının az olduğu görüşünü oluşturmaktadır. Aynı zamanda, Şekil 6a ve Şekil 7a'da sunulmuş olan sayısal değerler karşılaştırıldığında ise sürşarj yükünün zemin birim hacim ağırlığı ile birlikte artması durumunda temel boyutlarını arttırıcı etki yaptığı söylenebilmektedir. Şekil 6b ve Şekil 7b'de sunulmuş olan sayısal değerler karşılaştırıldığında ise sürşarj yükünün zemin birim hacim ağırlığı ve kayma mukavemeti açısı ile birlikte artması durumunda temel boyutlarını arttırıcı etkisinin daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 7: İstinat duvarı temel taban genişliğinin sürşarj yüküne bağlı değişimi ($\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$), (a) $\Phi = 28^\circ$, (b) $\Phi = 38^\circ$

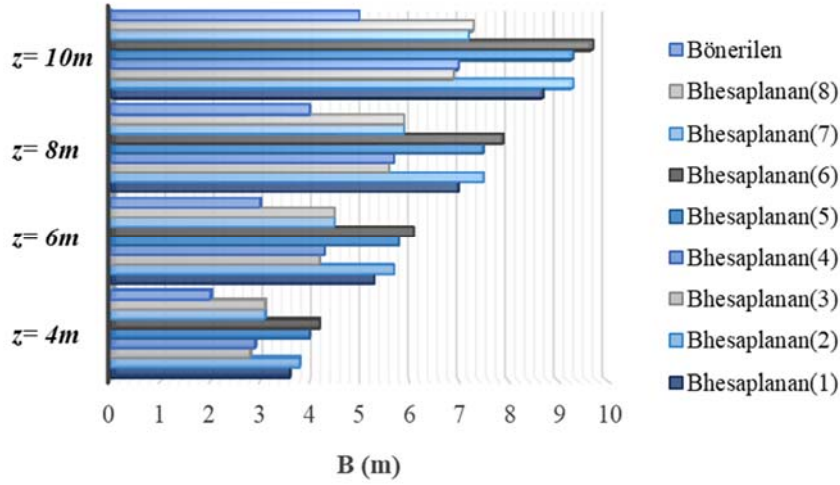
Şekil 8a-d'de ise sürşarj yükü değerinin 10 kPa ve geri dolgu birim hacim ağırlığının sırası ile 16, 18, 20, 22 kN/m³ olması durumları için kayma mukavemeti açısı ve derinliğe bağlı temel taban genişliği değişiminin etkileri bütünsel olarak verilmiştir. Kayma mukavemeti açısının 28, 30, 32, 34, 36, 38° şeklinde artması ile birlikte geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığının sabit kalması durumunda bu çalışmada öngörülen kazı derinliklerinde duvar temel genişliğinde azalma meydana gelmiştir. Geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığının sabit kalması ile birlikte geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığının 16, 18, 20, 22 kN/m³ şeklinde artması durumunda ön görülen kazı derinliklerinde duvar temel genişliğinin arttığı görülmüştür. Duvar temel genişliğindeki bu artış maksimum % 4 mertebelerindedir. Kayma açısı ve geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığının artmasıyla birlikte bu artış %1 mertebelerine düşmektedir.



Şekil 8: İstinat duvarı temel taban genişliğinin derinliğe ve kayma mukavemeti açısına bağlı değişimi (a) $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$, $q=10 \text{ kPa}$, (b) $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$, $q=10 \text{ kPa}$, (c) $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$, $q=10 \text{ kPa}$, (d) $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $q=10 \text{ kPa}$

Tüm bu değerlendirmelere ilave olarak, TBDY 2018 uygulanarak yapılan boyutlandırma ile birlikte literatür kapsamında ön boyutlandırma için araştırmacı ve uygulamacılara sunulan minimum boyutlarda (Azizi, 1999) hesaplanmış ve önerilen boyut olarak ifade edilerek Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9, istinat duvarı temel taban genişliğinin TBDY 2018'e göre hesaplanan ve literatürde önerilen değerlerinin karşılaştırılması imkânını sunmaktadır. Şekil 9 aynı zamanda, hesaplanan temel taban genişliğinin farklı değişkenlerle hesaplanan değerlerini de içermektedir. Bu bağlamda, $B_{\text{hesaplanan}(1)}$ ifadesi $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=28^\circ$ ve $q=0 \text{ kPa}$ değerlerini, $B_{\text{hesaplanan}(2)}$ ifadesi $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=28^\circ$ ve $q=0 \text{ kPa}$ değerlerini, $B_{\text{hesaplanan}(3)}$ ifadesi $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=38^\circ$ ve $q=0 \text{ kPa}$ değerlerini, $B_{\text{hesaplanan}(4)}$ ifadesi $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=38^\circ$ ve $q=0 \text{ kPa}$ değerlerini, $B_{\text{hesaplanan}(5)}$ ifadesi $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=28^\circ$ ve $q=10 \text{ kPa}$ değerlerini, $B_{\text{hesaplanan}(6)}$ ifadesi $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=28^\circ$ ve $q=10 \text{ kPa}$ değerlerini, $B_{\text{hesaplanan}(7)}$ ifadesi $\gamma=16 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=38^\circ$ ve $q=10 \text{ kPa}$ değerlerini, $B_{\text{hesaplanan}(8)}$ ifadesi $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $\Phi=38^\circ$ ve $q=10 \text{ kPa}$ değerlerini ifade etmektedir.

Şekil 9, literatürde önerilen minimum tasarım boyutların TBDY 2018'e göre yapılan dinamik tasarımlar açısından kullanılabilirliğinin ve uygulanabilirliğinin düşük olduğunu göstermektedir. Çünkü önerilen boyutlar ile kurgulanan vakalar doğrultusunda elde edilen boyutlar arasında minimum %50 maksimum %100 farklılık oluştuğu göze çarpmaktadır.



Şekil 9: İstinat duvarı temel taban genişliğinin hesaplanan ve önerilen değerlerinin karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

Bu makale kapsamında, TBDY 2018'e göre betonarme istinat duvarlarının tasarımı kurgulanan çok değişkenli vakalar için yapılan parametrik analizler ile değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen değişkenler, geri dolgu zemininin kayma mukavemeti açısı ve birim hacim ağırlığı, desteklenen kazı derinliği ve geri dolgu üzerine etkiyen sürşarj yükü değeri olarak seçilmiştir. Geri dolgu malzemesinin saf granüler zeminden oluştuğu, temel zeminin kohezyonlu zemin olduğu ve duvar arkasında herhangi bir eğimin söz konusu olmadığı durumlar için tasarımlar kurgulanmıştır. İstinat duvarının temel kalınlığı ve ön-arka ampatman uzunlukları değiştirilerek, yazılan bir Microsoft Excel-Macro programı ile TBDY 2018'e göre önerilen güvenlik sayıları dâhilinde limit dengede kalınacak duvar boyutları elde edilmiştir ve analiz sonuçları grafiksel olarak sunulmuştur. Yapılan analizler ve karşılaştırmalar sonucunda, çalışma kapsamında kullanılan verilere bağlı olarak elde edilen değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

1. İstinat duvarının depreme dayanıklı tasarımında, tasarım boyutlarını etkileyen en önemli etken kazı derinliğinin değişimidir. Kazı derinliğinin artımı ile duvar yüzeyine etkiyen aktif

- basınçlar artmakta ve stabilitenin sağlanması amacı ile gerekli boyutlandırma, en etkili şekilde, duvar temelinin genişliğinin artırılması ile elde edilebilmektedir.
2. Geri dolgu temel zeminin kayma mukavemeti özellikleri iyileştikçe (kayma mukavemeti açısı arttıkça) aktif toprak basıncı katsayısının azalması ile yanal toprak kuvvetleri de azalmaktadır. Bu durum, duvar boyutlarının dikkate değer seviyede azalmasına neden olmaktadır.
 3. Stabilitenin sağlanması amacı ile kurgulanan her vakada referans alınan minimum istinat duvarı boyutlarına göre, temel genişliğinin artırılması temel yüksekliğinin artırılmasından daha fazla etkiye sahip olmaktadır.
 4. Geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığındaki artış, duvar kesitine etkileyen zemin gerilmelerinin artışına neden olmaktadır. Bu durum, duvar yüksekliğinden ziyade temel genişliğinin artırılması ile gerekli stabilize koşullarının elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak bu artış, makale kapsamında değerlendirilen minimum birim hacim ağırlığı değerinden maksimum birim hacim ağırlığı değerine çıkması durumunda dahi en yüksek %7 oranında bir değişime sebep olmuştur. Bu artış açısından dikkat çeken bir durum da, maksimum boyut değişiminin en derin kazı kotunda meydana gelmiş olmasıdır. Nispeten yüzeysel olan kazı derinliklerinde ise geri dolgu zemin birim hacim ağırlığının duvar temel genişliği üzerindeki etkisi çok daha azdır. Bu bağlamda geri dolgu malzemesinin kayma mukavemeti parametrelerinin, duvarın dinamik tasarımı üzerinde en etkili faktörlerden biri olduğu söylenebilmektedir.
 5. Sürşarj yükü değerinin artması, kurgulanan vakalar için temel taban genişliğinin artımına neden olmuştur. Zemin birim hacim ağırlığının artmasının sürşarj yükü ile etkileşimli olarak değerlendirilmesi sonucunda boyutlarda meydana gelebilecek farklılığın derinlikle değişim oranını azalttığı sonucunu doğurmaktadır ancak sürşarj yükünün zemin birim hacim ağırlığı ile birlikte artması durumunda temel boyutlarını arttırıcı etki yaptığı söylenebilmektedir. Ayrıca, sürşarj yükünün zemin birim hacim ağırlığı ve kayma mukavemeti açısı ile birlikte artması durumunda temel boyutlarını arttırıcı etkisinin daha düşük olduğu görülmektedir.
 6. Göreceli olarak yüksek olan kayma mukavemeti açıları, birim hacim ağırlığında meydana gelen değişimin temel boyutlarındaki değişime etki oranının düşük olduğu görüşü oluşmuştur.
 7. Literatür kaynakları kapsamında önerilen ön-boyutlandırma kriterleri istinat duvarlarının dinamik yükler altındaki tasarımı açısından uygun görülmemektedir. Yapılan analizler, söz konusu geleneksel öngörüler ile elde edilen boyutların, dinamik analizler sonucunda %50-100 aralığında değişim gösterebileceğini sergilemiştir.

KAYNAKLAR

- Arslan Ö., Keskin İ., Ateş A., 2018. Farklı Deprem Yüklerinin Betonarme Konsol Bir İstinat Duvarının Maliyetine Etkisinin Analizi, *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B- Teorik Bilimler* 6, 28-35.
- Azizi F., 1999. Applied Analyses in Geotechnics, Taylor and Francis Group, New York, USA, 776 p.
- Bilgin H., 2006. İstinat Duvarlarının Dinamik ve Statik Yükler Altındaki Davranışının Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 102 s.
- Binici E., Öztürk Ş., 2019. Konsol İstinat Duvar Tasarımı Üzerine Parametrik Bir Çalışma, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 9(1), 203-210.
- Bowles J.E., 1988. Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill, New York, USA, 1175 p.

Camp C.V., Akin A., 2012. Design of Retaining Walls Using Big Bang–Big Crunch Optimization, *Journal of Structural Engineering* 138, 438-448.

Çakır T.A., 2016. Parametric Study on Evaluation of Backfill Interaction on Seismic Response of a Cantilever Wall, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 31(2), 199-204.

Das B.M., 2007. Principles of Foundation Engineering, Thomson, Toronto, Canada, 750 p.

Das B.M., 2010. Principles of Foundation Engineering, Cengage Learning, Stamford, USA, 795 p.

Gandomi A.H., Kashani A.R., Roke D.A., Mousavi M.H., 2015. Optimization of retaining wall design using recent swarm intelligence techniques, *Engineering Structures* 103, 72-84.

Gürsoy Ş., 2013. İstinat Duvarlarına Etkiyen Aktif Zemin Etkilerinin Eurocode-8 ve Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre Karşılaştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji* 1(4), 153-160.

Kaveh A., Ahani K.A., Farzam M.F., 2013. Constructability optimal design of reinforced concrete retaining walls using a multi-objective genetic algorithm, *Structural Engineering and Mechanics* 47(2), 227-245.

Kayhan A.H., Demir A., 2018. Statik ve dinamik yüklere maruz betonarme konsol istinat duvarlarının diferansiyel gelişim algoritması ile optimum tasarımı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 24(3), 403-4012.

Talatahari S., Sheikholeslami R., 2014. Optimum Design of Gravity and Reinforced Retaining Walls using Enhanced Charged System Search Algorithm, *KSCE Journal of Civil Engineering* 18(5), 1464-1469.

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara. Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1.pdf>

TDTH, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, Ankara. Erişim adresi: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>

Temür R., Bekdaş G., 2018. Betonarme konsol istinat duvarlarının optimum tasarımı *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(6), 1043-1050.

TS-7994,1990. Türk Standartları Enstitüsü. “Zemin Dayanma Yapıları: Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları”. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 7994, 1990.

Tuğrul A.T., 2019. İstinat Yapılarının Depreme Dayanıklı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, 202 s.



EstuNet: A new Weak/Strong-Motion Network with Geodatabase for Metropolitan Eskisehir and Bursa, West Anatolia, Turkey

Muammer Tun¹, Sunay Mutlu¹ and Emrah Pekkan¹

¹ Eskisehir Technical University, Institute of Earth and Space Sciences, Department of Earth Sciences and Earthquake Engineering, Tepebasi 26555 Eskisehir
ORCID: 0000-0002-7118-9977, 0000-0002-3350-696X, 0000-0002-9414-8887

Keywords

EstuNet Seismic Network, Eskisehir-Bursa, Geodatabase, Seismometer, Accelerometer

Highlights

- * EstuNet Seismic Network
- * Eskisehir and Bursa
- * Geodatabase

Acknowledgements

Anadolu University (Project No: 0802000040, 1105F107 and 1401F026), Disaster and Emergency Management Authority (AFAD), Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI), Bursa/Osmangazi Municipality.

Aim

Sharing the experience of establishing and developing the Seismic Network in Eskisehir and Bursa basins.

Location

Eskisehir and Bursa, Turkey.

Methods

Establishment, development and data analysis processes of EstuNet Seismic Network.

Results

Planning the establishment additional stations near the Eskisehir and Bursa Basins and developing the EstuNet Seismic Network.

Supporting Institutions

Eskisehir Technical University, Institute of Earth and Space Sciences.

Manuscript

Research Article

Received: 26.08.2020

Revised: 10.12.2020

Accepted: 10.12.2020

Printed: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.785892

Corresponding Author

Sunay Mutlu

Email: sunaymutlu@eskisehir.edu.tr

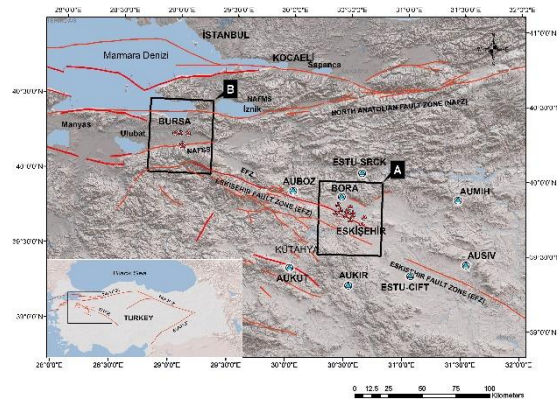


Figure
Regional map showing the active faults in Western Anatolia, Turkey and the location of EstuNet Seismic Network Stations

How to cite

Tun M., Mutlu S., Pekkan E., 2020. EstuNet: A new Weak/Strong-Motion Network with Geodatabase for Metropolitan Eskisehir and Bursa, West Anatolia, Turkey, *Turk. J. Earthq. Res.* 2(2), 193-208, <https://doi.org/10.46464/tdad.785892>



EstuNet: Eskişehir ve Bursa Büyükşehirleri için Konumsal Veritabanlı Yeni Bir Zayıf/Kuvvetli Yer Hareketi Ağı, Batı Anadolu, Türkiye

Muammer Tün¹, Sunay Mutlu¹ ve Emrah Pekkan¹

¹ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Yer Bilimleri ve Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, Tepebaşı
26555 Eskişehir

ORCID: 0000-0002-7118-9977, 0000-0002-3350-696X, 0000-0002-9414-8887

ÖZET

Eskişehir ve Bursa illerinde meydana gelebilecek büyük bir deprem, bölgenin ulusal ekonomiye endüstriyel katkısı, sosyo-ekonomik koşulları, endüstriyel üretim, yüksek nüfus gibi nedenlerden dolayı maddi ve manevi kayıplara neden olacaktır. Bu çalışmanın temel amacı, Eskişehir ve Bursa Basenleri içindeki yer tepkisi özelliklerinin ve dalga yayılım biçimlerinin belirlenmesidir. 26 adet sismometre ve ivmeölçerden oluşan EstuNet Sismik Ağı'nın Eskişehir ve Bursa Basenleri üzerindeki mekânsal dağılımı, yarım graben yapıdaki basen üzerinde farklı jeolojik formasyonlar ve farklı sediman kalınlıklarının yer tepkilerini ölçebilecek niteliktedir. İstasyonların konumları faylar, yerel zemin koşulları ve yerleşim yoğunluğu dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca bu istasyonlar aktif fay segmentlerinin yakınında konumlandırılmıştır. EstuNet Sismik Ağı kayıtları, depremin merkezinden istasyonlara gelen deprem dalgalarının varış zamanını ve yer hareketinin en yüksek ivme/hız (PGA/PGV) değerlerini göstermektedir.

Anahtar kelimeler

EstuNet Sismik Ağı, Eskişehir-Bursa, Konumsal Veritabanı, Sismometre, İvmeölçer

Öne Çıkanlar

- * EstuNet Sismik Ağı
- * Eskişehir ve Bursa
- * Konumsal Veritabanı

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 26.08.2020
Düzeltilme: 10.12.2020
Kabul: 10.12.2020
Basım: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.785892

Sorumlu yazar

Sunay Mutlu
Eposta:
sunaymutlu@eskisehir.edu.tr

EstuNet: A new Weak/Strong-Motion Network with Geodatabase for Metropolitan Eskisehir and Bursa, West Anatolia, Turkey

Muammer Tun¹, Sunay Mutlu¹ and Emrah Pekkan¹

¹ Eskisehir Technical University, Institute of Earth and Space Sciences, Department of Earth Sciences and Earthquake Engineering, Tepebaşı 26555 Eskisehir

ORCID: 0000-0002-7118-9977, 0000-0002-3350-696X, 0000-0002-9414-8887

ABSTRACT

A major earthquake induced financial and moral losses that may occur in Bursa and Eskisehir could be quite large for the reasons such as the high population, industrial production, socio-economic conditions and the industrial contribution to national economy of the region. The main purpose of this study, is to determine wave propagation and site response properties of both Eskisehir and Bursa Basins. EstuNet Seismic Network comprised 26 seismometers and accelerometers were spatially distributed in Eskisehir basin to represent the behaviors of different sediment thickness and different geologic formations of the half graben structured basin. The location of the stations was chosen according to faults, local soil conditions and settlement density. Also, these stations were located near the active fault segments. The recording on EstuNet Seismic Network Stations show the arrival time of the earthquake from the epicenter to the stations and the peak ground acceleration/velocity (PGA/PGV) values.

Keywords

EstuNet Seismic Network, Eskisehir-Bursa, Geodatabase, Seismometer, Accelerometer

Highlights

- * EstuNet Seismic Network
- * Eskisehir and Bursa
- * Geodatabase

Manuscript

Research Article

Received: 26.08.2020
Revised: 10.12.2020
Accepted: 10.12.2020
Printed: 30.12.2020

DOI

10.46464/tdad.785892

Corresponding Author

Sunay Mutlu
Email:
sunaymutlu@eskisehir.edu.tr

1. GİRİŞ

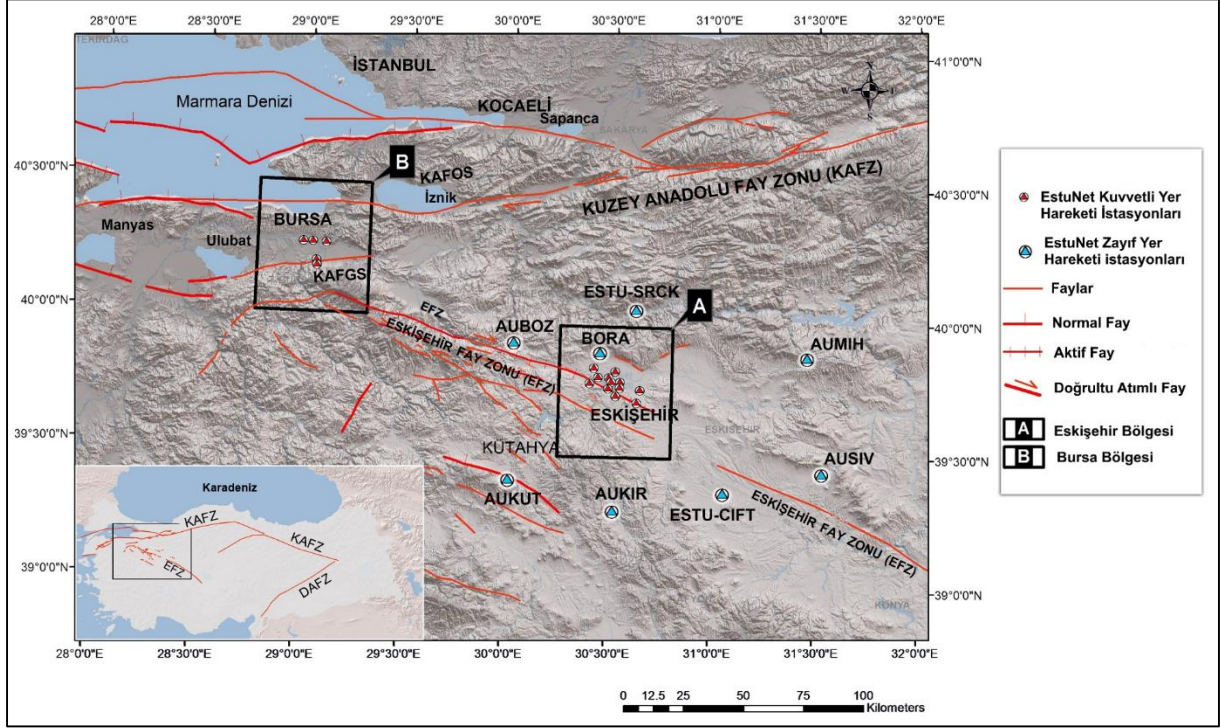
Eskişehir ve Bursa illerinde 01.04.2005-08.02.2014 tarihleri arasında toplam 26 adet istasyondan oluşan kuvvetli/zayıf-hareket sismik görüntüleme ağı kurulmuştur. Sismik ağı kurulum ve işletme çalışmaları Eskişehir Teknik Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü koordinatörlüğünde, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı ve Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü iş birliğinde yürütülmektedir. EstuNet Sismik Ağı kurulum ve işletme çalışmaları, ilk olarak 5 istasyon kurulumu ile 2005 yılında başlatılmış ve 01/03/2014 tarihli "Eskişehir Yerleşim Yerinde, CBS Teknikleri Kullanılarak Geoteknik, Yapı ve Jeofizik Bilgi Sisteminin Oluşturulması" başlıklı "080240" nolu, 08/02/2014 tarihli "Yeraltı ve Sismik Görüntüleme Altyapısının Oluşturulması" başlıklı "1105F107" nolu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri destekleri ile istasyon sayısı 13 kuvvetli-hareket, 8 zayıf-hareket olarak 21'e çıkarılmıştır. Son olarak Bursa ili Osmangazi Belediyesi desteğiyle sismik ağa 5 adet kuvvetli-hareket istasyonu eklenerek, toplam kuvvetli yer hareketi istasyon sayısı 18'e çıkarılmış, ağdaki toplam istasyon sayısı da 26'ya yükselmiştir. 2018 yılında tamamlanan "Eskişehir Ovası Basen-Anakaya Sınır Geometrisinin Belirlenmesi ve AnaNet Sismik Ağı Deprem Bilgi Sisteminin Kurulması" başlıklı "1401F026" nolu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında EstuNet Sismik Ağı altyapısının iyileştirilmesi ve sunucu hizmetlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Türkiye'nin, Bursa ve Eskişehir illeri olmak üzere iki farklı bölgesinde kurulan EstuNet sismik ağı, özellikle Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Eskişehir Fay Zonu (EFZ) kaynaklı deprem tehlikelerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Ayrıca, her iki bölgede de oldukça derin basen yapısı nedeniyle, yer hareketi büyütme etkisi altında kalacak yoğun yerleşim ve sanayi alanları bulunmaktadır. Bursa ve Eskişehir'de, yüksek nüfus oranı, endüstriyel yoğunluk, sosyo-ekonomik koşullar, ulusal ekonomiye katkısı nedeniyle, bölgede oluşabilecek büyük bir deprem kaynaklı maddi ve manevi kayıplar oldukça büyük olabilecektir. Bu projelerin öncelikli amaçlarından birisi, 50m-700m aralığında değişen derinlikteki yarım graben yapıya sahip Eskişehir Baseni boyunca ve yaklaşık 300-350m ana kaya derinliğine sahip Bursa kent merkezindeki bölgede dalga yayılım ve yer tepkisi özelliklerini ortaya koymaktır. Eskişehir ve Bursa kent merkezi boyunca Kuvaterner ve Neojen sedimanların zemin büyütmesi ve sıvılaşma gibi riskler üretebileceği daha önceki çalışmalarda belirlenmiştir (Gök ve Polat 2012, Ocakoglu ve Acikalin 2010, Orhan ve diğ. 2007, Oztürk ve diğ. 2009, Tün 2013). Eskişehir yerleşim alanının bütünlük sismik risk analizine göre, nüfus yoğunluğunun potansiyel bir deprem sırasında genellikle orta/yüksek risk altında olduğu ortaya konmuştur (Pekkan ve diğ. 2014).

2. SİSMOTEKTONİK KONUM

Altunel ve Barka (1998), İnönü ve Sultandere arasındaki Eskişehir Fay Zonu'nu, alan gözlemlerini ve 20.02.1956 (M=6.5) Eskişehir depreminin odak mekanizması çözümünü kullanarak üç boyutlu bir yapı olarak belirlemiştir (McKenzie, 1972). Eskişehir Fay Zonu, Bursa-İnegöl'den Cihanbeyli'ye uzanan Türkiye'nin önemli neotektonik yapılarından biridir (Şekil 1). Fay zonu, Eskişehir yerleşkesi için önemli bir sismik risk oluşturmaktadır. Eskişehir bölgesinde, yardımcı yapılar yaklaşık K60B doğrultusuna sahip olan esas Eskişehir Fayının konumunu göstermektedir. Bu yön Sarısu Çayı'nın kademeli kıvrımlarına uymaktadır. Bu nedenle, aralıklı ve aşamalı Bahçehisar ve Çukurhisar-Sultandere segmentleri öne sürülmüştür (Seyitoglu ve diğ. 2015). Okay ve diğ. (2008)'e göre, Eskişehir Fay Zonu Batı'da kıta içi makaslama zonu olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'na katılır ve bu olayın tarihi Uludağ masifinin Geç Oligosen kalıntlarına kadar uzanmaktadır.

20. yüzyılda Eskişehir Fay Zonu üzerinde büyüklüğü 4'ün üzerinde olan 16 deprem meydana gelmiştir ve bunlardan en önemli olanı ise 20 Şubat 1956 (M=6.5) Eskişehir depremidir (Öcal 1959, McKenzie 1972). Ana şokun Merkez üssü konusu halen literatürde tartışmalıdır (Ocakoglu ve Acikalın 2010).



Şekil 1: Batı Anadolu'daki aktif fayları gösteren bölgesel harita (Şaroğlu ve diğ. (1992), Emre ve diğ. (2013), Ocakoglu (2007), Ocakoğlu ve diğ. (2005), Tokay ve Altunel (2005) ve Yaltırak (2002)'den türetilmiştir.) ve EstuNet Sismik Ağı istasyonları (KAFZ-Kuzey Anadolu Fay Zonu, KAFOS-Kuzey Anadolu Fayı Orta Segmenti, KAFGS-Kuzey Anadolu Fayı Güney Segmenti, EFZ-Eskişehir fay zonu, DAFZ-Doğu Anadolu Fay Zonu.)

1500 km uzunluğundaki Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Marmara Denizi'nin doğusunda üç fay bölümüne ayrılmıştır (Emre ve diğ. 2013). Bu üç bölüm Marmara bölgesinde farklı kinematik ve sismik özellikler göstermektedir. Kuzey Kuzey Anadolu Fayı'nın Orta Segmenti (KAFOS), İznik Gölü, Gemlik Körfezi ve ardından Bandırma Körfezi boyunca doğu-batı yönünde uzanır. Güney-batı yönünde Bandırma Körfezi'nin batı kesiminde birçok faydan oluşan bir fay bölgesine döner. Kuzey Anadolu Fayının Güney Segmenti (KAFGS) Pamukova'dan kuzeydoğu-güneybatı yönüne uzanmaktadır. KAFGS Bursa'dan Manyas'a uzanır ve Uluabat Gölü'nün güney kıyısından güneybatı kıyılarına kıvrır ve BKB-DGD yönüyle Manyas Gölü'nün güney kısmına kadar ulaşmaktadır (Şekil 1) (Yaltırak 2002).

3. EstuNet SİSMİK AĞI

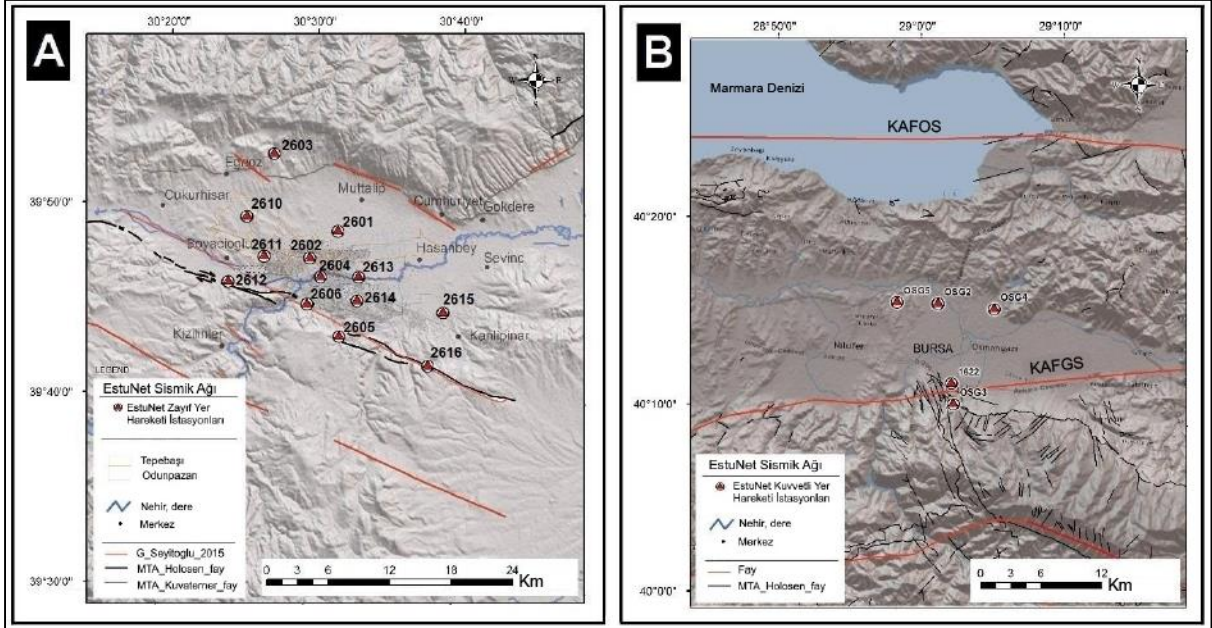
EstuNet Sismik Ağı 18 kuvvetli-hareket ve 8 zayıf-hareket istasyonundan oluşmaktadır. Bu iki şehirde kurulan sismik ağın başlıca amaçlarından birisi Eskişehir ili ve yakın çevresindeki deprem aktivitesinin izlenmesidir. İstasyon dağılımı, Eskişehir kent merkezinde yarım graben bir yapıdaki (Tün 2013) farklı kalınlardaki sediman ortamlarını ve farklı jeolojik birimleri temsil edebilecek özellikte kurulmuştur. İstasyon yerleri aktif fay segmentlerinin yakınındadır. İstasyon konumları elektrik bağlantısı, telefon bağlantısı, güvenlik ve ulaşım lojistiği bakımından problem yaşanmayacak yerlerde seçilmiştir. Elektrik ve telefon bağlantısı

sağlanamayan yerlerde güneş enerji sistemleri ve 3G-EDGE veri iletişim hizmetlerinden yararlanılmaktadır.

Kuvvetli yer hareketi ağları aşağıdaki nedenlerden dolayı işletilmektedir;

- Binalara hasar veren ivmenin ve kuvvetlerin ölçümü
- Depreme dayanıklı yapıların yapım yöntemlerinin geliştirilmesi,
- Mikrobölgeleme haritalarının hazırlanması için istenilen verilerin toplanması
- Deprem tehlikesi ve risk çalışmaları, deprem master planları, Eskişehir ve Bursa kentsel alanlarının deprem senaryosunun tanımlanması için veritabanı oluşturulması.

Serbest-alan kayıt özelliğine sahip istasyonlar uzaktan veri iletişimi, cihaz yapılandırma, güç kontrolü gibi özelliklere sahiptir. Hem istasyonların sağlıklı olarak izlenmesi hem de küçük depremlerin tüm istasyonlar tarafından kaydedilmesi amacıyla cihazlar sürekli kayıt modunda çalıştırılmakta ve istasyonlar ile merkez arasında gerçek zamanlı veri transferi sağlanmaktadır. EstuNet sismik ağı Eskişehir kent merkezinde 13 kuvvetli yer hareketi istasyonundan oluşmakta ve yaklaşık olarak 35x25 km'lik bir alanı kaplamaktadır. Bursa kent merkezinde ise 5 kuvvetli-hareket istasyonu işletilmektedir (Şekil 2). Tüm istasyonlar için istasyon parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2: Eskişehir (A) ve Bursa (B) şehir merkezindeki EstuNet kuvvetli yer hareketi istasyonlarının konumu ve aktif faylar (Şaroğlu ve diğ. (1992), Emre ve diğ. (2013), Ocakoglu (2007), Ocakoglu ve diğ. (2005), Tokay ve Altunel (2005) ve Yaltırak (2002)'den türetilmiştir.). (KAFOS-Kuzey Anadolu Fayı Orta Segmenti, KAFGS-Kuzey Anadolu Fayı Güney Segmenti, EFZ-Eskişehir Fay Zonu.)

Her istasyon yapıların etkilerinden kaçınmak için onlara uzak kurulmuştur. Sismik istasyonların altyapısı belli bir plana göre inşa edilmiştir (Şekil 3). Konteynerin üzerine monte edildiği temel betonun boyutu 220x220x30 cm ve sensörlerin monte edildiği orta betonun boyutu ise 40x40x60 cm ölçülerindedir. Orta betonun yarısı zeminde, diğer yarısı zeminin altında bulunmaktadır. Taban ve orta beton arasında 20 cm boşluk bulunmaktadır. Aralarındaki boşluk kum-çakıl karışımı ile doludur (Şekil 3).

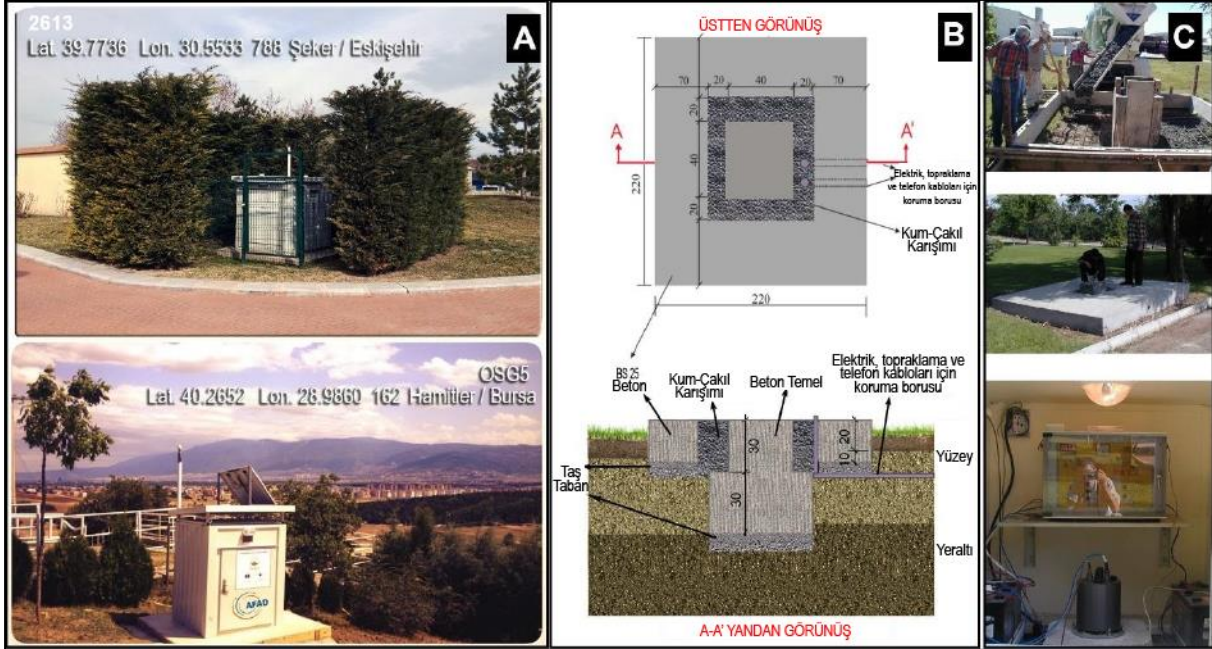
Tablo 1: EstuNet Kuvvetli / Zayıf Hareket Ağı İstasyon Parametreleri

No	Şehir	İstasyon Kodu	Enlem N	Boylam E	Yük. (m)	Lokasyon	Cihaz Kodu	Cihaz Tipi	Kurulum Tarihi	Bağlantı tipi
Zayıf Yer Hareketi İstasyonları										
1		BORA	39.8801	30.4534	930	Alınca	3L86	Guralp 3T 120sn	09.03.2005	Uydu
2	Eskişehir	AUMIH	39.8733	31.4621	1458	Mihaliççik Yelken Tepe	6763	Guralp 6TD	29.09.2010	Uydu
3		AUSIV	39.4398	31.5395	1150	Sivrihisar Tombak Kaya	6753	Guralp 6TD	28.01.2010	Uydu
4		AUKIR	39.2878	30.5306	1130	Kırka	6762	Guralp 6TD	27.01.2010	Uydu
5	Kütahya	AUKUT	39.3955	30.0213	1126	Kent Ormanı	6760	Guralp 6TD	27.01.2010	Uydu
6	Bilecik	AUBOZ	39.9103	30.0323	893	Bozüyük Höyük Tepe	6761	Guralp 6TD	26.01.2010	Uydu
7	Eskişehir	ESTU-SRCK	40.0416	30.6259	331	Sarıcakaya	SRC K	Guralp 3TDE 120sn	06.03.2013	3G/EDGE
8		ESTU-CIFT	39.3612	31.0625	892	Çifteler	CIFT	Guralp 3TDE 120sn	07.03.2013	3G/EDGE
Kuvvetli Yer Hareketi İstasyonları										
1		2601	39.8135	30.5284	787	İki Eylül Kampüsü	5CL9	Guralp 5TCDE	07.12.2005	3G/EDGE
2		2602	39.7893	30.4972	815	Yeşiltepe	5815	Guralp 5TD	14.03.2005	3G/EDGE
3		2603	39.8801	30.4534	930	Alınca	5816	Guralp 5TD	09.03.2005	Uydu
4		2604	39.7732	30.5101	770	Kırmızıtoprak	5CN0	Guralp 5TCDE	09.12.2005	3G/EDGE
5		2605	39.7211	30.5326	936	Asri Mezarlık	5CM6	Guralp 5TCDE	11.09.2012	3G/EDGE
6		2606	39.7463	30.4964	842	Büyükdere	5814	Guralp 5TD	10.12.2005	3G/EDGE
7	Eskişehir	2610	39.8245	30.4243	837	Yukarısöğütönü	5G81	Guralp 5TD	14.06.2010	3G/EDGE
8		2611	39.7899	30.4454	813	Batıkent	5L89	Guralp 5TCDE	30.09.2014	3G/EDGE
9		2612	39.7669	30.4049	833	Karabayır	5G80	Guralp 5TD	15.09.2012	3G/EDGE
10		2613	39.7736	30.5533	788	Şeker	5G78	Guralp 5TD	07.09.2012	3G/EDGE
11		2614	39.7529	30.5521	860	Erenköy	5G72	Guralp 5TD	08.09.2012	3G/EDGE
12		2615	39.7473	30.6530	811	Organize Sanayi	5L84	Guralp 5TD	14.06.2010	3G/EDGE
13		2616	39.7099	30.6193	918	Sultandere	5G76	Guralp 5TD	15.06.2010	3G/EDGE
14		1622	40.1953	29.0534	156	Merinos	5CM1	Guralp 5TCDE	22.07.2013	3G/EDGE
15		OSG2	40.2656	29.0336	78	Armutköy	5CA0	Guralp 5TCDE	23.07.2013	3G/EDGE
16	Bursa	OSG3	40.1770	29.0567	366	Mollafenari	5CA1	Guralp 5TCDE	24.07.2013	3G/EDGE
17		OSG4	40.2630	29.0992	106	Demirtaş	5BZ9	Guralp 5TCDE	25.07.2013	3G/EDGE
18		OSG5	40.2652	28.9860	162	Hamitler	5BZ8	Guralp 5TCDE	26.07.2013	3G/EDGE

3.1) İstasyonların Donanım Özellikleri

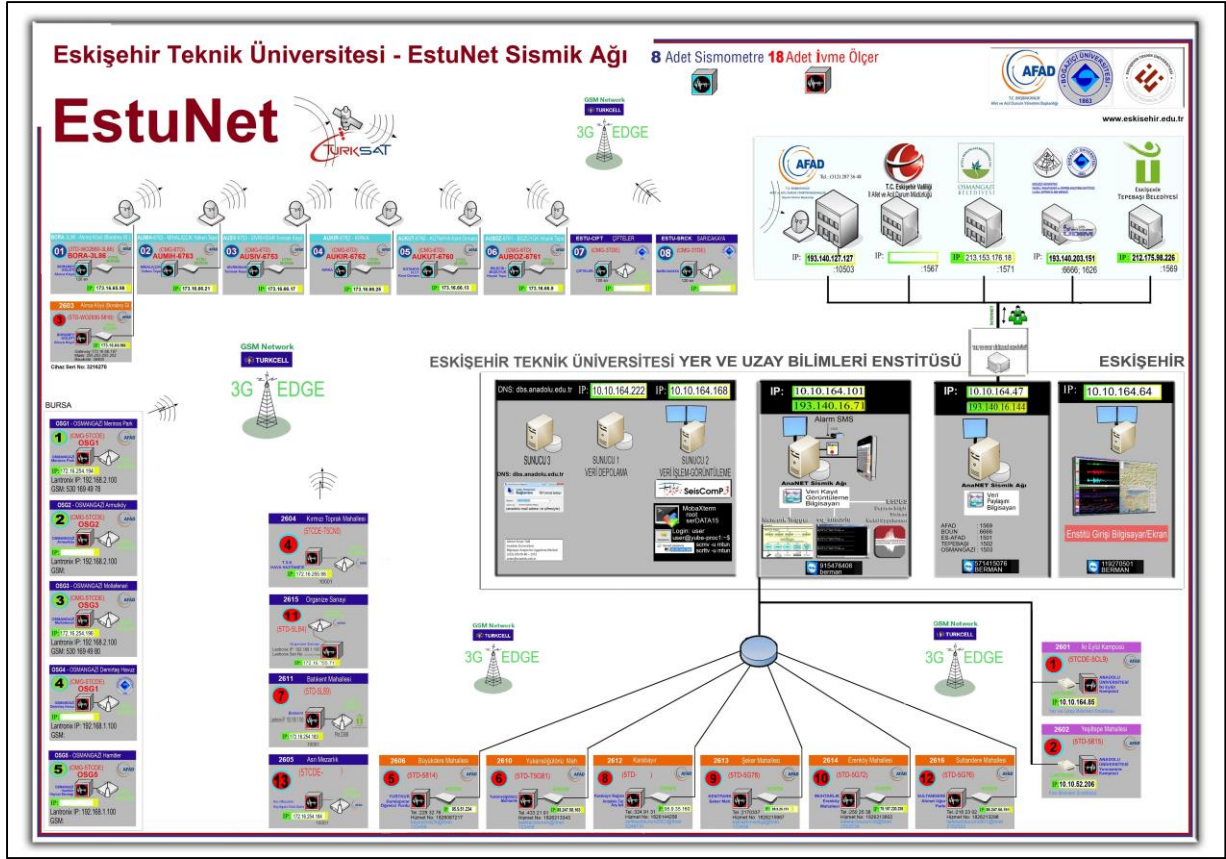
Tüm istasyonlar alandan bağımsız şekilde üç bileşen sensörleri, 24 bitlik sayısallaştırıcıları ve veri depolama birimleri ile donatılmıştır. Sistemler, iletişimin ve gücün kesilmemesi için çift beslemeli şekilde tasarlanmıştır. İletişim GPRS veya uydu modem ile yapılmaktadır (Şekil 3). Veri aktarımı çoğunlukla GPRS/EDGE üzerinden sağlanmaktadır. EDGE, 3G veya uydu iletişim sistemleri sismik istasyonları kontrol eder ve gerçek zamanlı sürekli veri iletişimini sağlamaktadır (Şekil 4). Sismik ağ üzerinde; Scream, SeisComP, Network Trigger yazılımları kullanılmaktadır (SeisComP 2020). Scream, Guralp Systems tarafından Windows ve Linux platformları için geliştirilen veri toplama, kontrol, konfigürasyon, gerçek zamanlı veri elde etme ve izleme yazılımıdır (Guralp Systems 2020). 100 sps'de örneklenen sürekli dalga formu verileri (saniye başına örnek), zaman ve istasyon bilgilerini de içeren Guralp sıkıştırılmış format (GCF) dosya formatında saklanır. Kayıt dosyası adı Tarih (yyyyaagg) + saat (ssdds) +

istasyonun kısaltması olarak oluşturulur. Değerlendirmeden sonra tüm veriler ASCII formatları «.txt» dosyasına dönüştürülür ve hemen web sitesine atanır. Temel düzeltilmesi hariç, ivme verileri üzerinde herhangi bir işlem uygulanmaz. Diğer bir deyişle, web sayfasındaki kayıtlar tamamen Ham verilerdir. Eskişehir Teknik Üniversitesi sunucularında depolanan tüm deprem verileri AFAD, KOERI, Eskişehir Valiliği, Bursa/Osmangazi Belediyesi, Eskişehir/Tepebaşı Belediyesi ile gerçek zamanlı olarak paylaşılmaktadır (Şekil 4).



Şekil 3: EstuNet kuvvetli / zayıf yer hareket ağının tipik kurulumu a) Kayıt istasyonları, 2613, OSG5 konumlarında gösterildiği gibi standart küçük galvanizli kulübede çevrelenmiştir, b) Kuvvetli yer hareketi istasyonların altyapısı şemaya göre inşa edilmiştir, c) İnşaat aşamaları, tipik bir serbest alan istasyonu kurulumu ile bir kabin iç görünümü. Guralp CMG-5TCDE yerleşik sistemi beton bir tabana monte edilmiştir.

SeisComP, Helmholtz Center Potsdam, GFZ Alman Geosciences Araştırma Merkezi ve gempa GmbH'daki GEOFON Programı tarafından geliştirilen veri toplama, işleme, dağıtım ve etkileşimli analiz için yaygın olarak kullanılan bir sismoloji yazılımıdır. SeisComP, son 10 yılda saf alım modüllerinden tam özellikli gerçek zamanlı deprem izleme yazılımına dönüşmüştür. Sismik veri iletimi için SeedLink protokolü SeisComP'nin çekirdeğidir. SeisComp'a yakın zamanda basit, tamamen otomatik olay algılama, konum ve büyüklük belirleme özellikleri eklenmiştir (URL 1). Guralp Systems'in Network Trigger yazılımı, birden fazla istasyonun dizilerindeki olayların tanımlanmasını ve tespit edilmesini sağlamaktadır. Algılanan olaylar SMS, eMail ve donanım röleleri aracılığıyla harici olayları tetikleyebilir, olay verileri çıkarılabilir ve dosyalanabilir (Guralp Systems 2020). Ek olarak, 1401F026 sayılı Anadolu Üniversitesi bilimsel projesi kapsamında Eq_Anadolu yazılımı geliştirilmiştir. En büyük yatay yer ivmesi (PGA) ve en büyük yatay yer değiştirmesinin (PGD) gerçek zamanlı otomatik hesaplaması için Eq_Anadolu kullanılmaktadır. Yazılım, oluşturulan 'txt.file' dosyasının ilk satırına deprem bilgilerini yazmakta ve EstuNet kuvvetli hareket istasyonları tarafından ölçülen PGA ve PGA değerleri sonraki satırlara işlenmektedir.



Şekil 4: EstuNet Sismik Ağı'nın gerçek zamanlı iletişim altyapısı ve istasyonların özellikleri için şematik diyagram

3.2) Alan Özellikleri

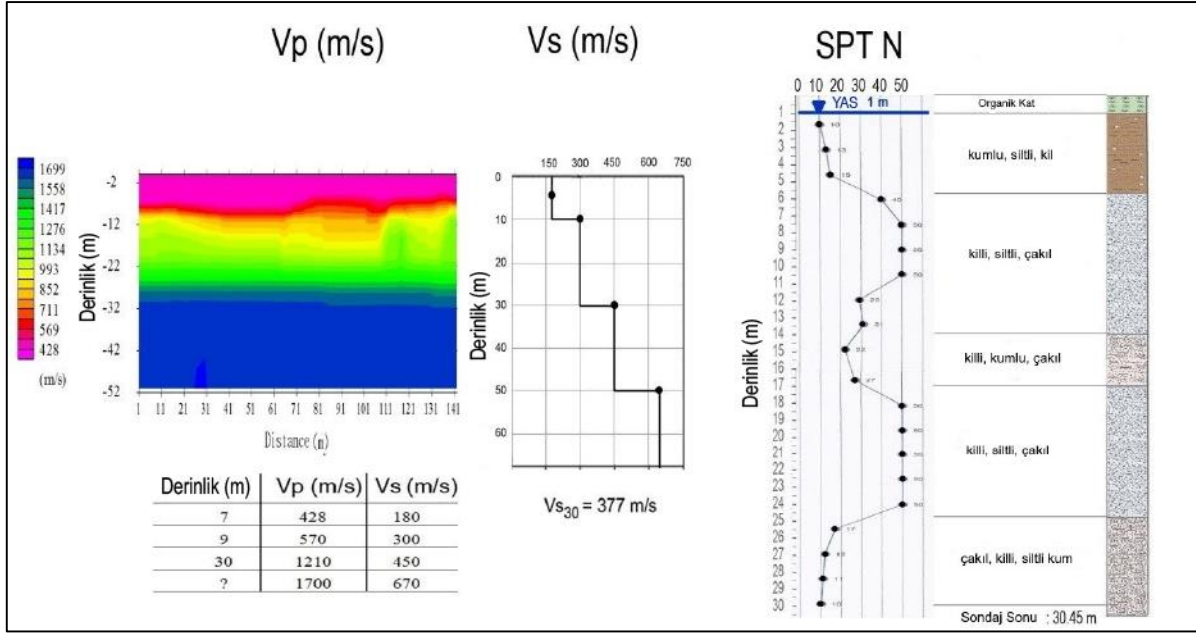
Sismik dalgaların özellikleri yerel zemin koşullarından önemli ölçüde etkilenir ve genellikle deprem hasarının potansiyeli üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Zemin tepkisi özellikle yumuşak zeminler için çok önemlidir çünkü tüm diğer durumlar eşit tutulduğunda zemin üzerindeki hareket genellikle kayadan daha büyüktür. Genel olarak, zemin tepki tahmini aleysel kayıtlardan elde edilebilir ancak bunun deprem sırasında kuvvetli yer hareketlerinin doğrudan ölçülmesinden ve daha sonra kuvvetli yer hareketi verilerinin analizinden elde edilebileceği anlaşılmaktadır (Polat ve diğ. 2009). Kentsel alandaki zemin tepki özelliklerini hesaplamak için EstuNet sismik ağı kurulmuştur.

Sığ bir kırılma çalışması için sismik kaynağın seçilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada sığ sismik yöntemler için farklı sismik kaynaklar kullanılmıştır. Sismik kırılma yönteminde 16 fişekli S-Gun, 36 fişekli P-Gun ve MASW sismik yönteminde ise 500 kg Ağırlık düşürmeli sismik enerji kaynakları kullanılmıştır (Şekil 5). 500 kg kütlelin 2m yükseklikten düşmesine izin verilir ve metal plaka üzerinde tek bir atış yapar. Sismik kırılma yönteminde ise değişken aralıklı bir dizilim uygulanmıştır. Bunun sebebi ise hem sığ derinliklerden daha doğru hız bilgisi alabilmek ve hem de daha derinlere nüfus edebilmektir. Şekil 5, sismik kırılma yöntemi için uygulama şeması ve çalışmada kullanılan sismik kaynaklar gösterilmiştir.



Şekil 5: a) OSG_Sismik kırılma yönteminde 48 kanal sismik kayıt sisteminin dizilim diyagramı, b) S-Gun fotoğrafı, c) P-Gun fotoğrafı, d) 14 Hz P ve S jeofonları, e) 500 kg Ağırlık düşürme cihazı.

İç Anadolu Bölgesi'nin batısında yer alan Eskişehir ve Bursa şehirleri, Türkiye'nin en gelişmiş ve sanayileşmiş şehirlerinden ikisidir. Her ikisi de aktif faylara çok yakındır ve kalın Kuvaterner-Neojen çağı çökelleri üzerine oturtulmuştur. Eskişehir ve Bursa havzasındaki konsolide olmayan tortullar (taneleri arasında su olmayan sedimanlar), yer hareketlerinin yüzeye yayılmasını önemli ölçüde değiştirebileceğinden, Eskişehir ve Bursa kentsel alanı için sismik tehlikenin değerlendirilmesi önemli bir konudur. İstasyonların yerel zemin özellikleri, yerinde yapılan jeoteknik ve jeofizik araştırmalarla elde edilmiştir. Bu kapsamda sismik kırılma, sismik yansıma, sondaj ve mikrotremor teknikleri uygulanmıştır. EstuNet istasyonları lokasyonundaki yerel zemin özellikleri SPT-N değerlerine bağlı olarak araştırılmıştır. Ayrıca üst 30m zemin tabakası (V_{S30}) için kayma dalgası hızının ortalaması, her yer hareket istasyonunda yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (MASW) ve sismik kırılma yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6: OSG2 istasyonu için yerel zemin bilgisi örneği; Bursa, Armutköy (SPT: Standart Penetrasyon Deneyi, Vp: P-dalgası hızı, Vs: S/kayma-dalgası hızı, Vs₃₀: Kayma dalgası hızınının 30m derinliğe kadar ortalama değeri, YAS: Yeraltı su seviyesi)

İvmeölçerler esas olarak bölgedeki ana jeolojik birimler olan Trias ve Eosen ile sınırlanan kalın Kuvaterner yaşlı birimlere kurulmuştur. İstasyonlar ağırlıklı olarak Eskişehir Havzası ve Bursa Havzası'ndaki Kuvaterner ve Neojen yaşlı birimlere dağıtılmıştır. Porsuk Nehri ve Sarısu Deresi'nin sedimanter malzemesi tarafından oluşturulan Eskişehir Havzası'nda Kuvaterner alüvyon genel olarak kuzeyden güneye daha yumuşak bir geçişle uzanmakta ve Eskişehir Havzası'nda maksimum 700 m derinliğe ulaşmaktadır. Böylece ortaya çıkan ana kaya sınırı Eskişehir Grabeni'nin yarım graben konfigürasyonunu tanımlamaktadır (Tün 2013). Ayrıca bölgedeki kaya birimlere ise OSG3, 2603, 2612, 2616, 2605 istasyonları kurulmuştur.

3.3) Veri ve Kaynak

Bu dizilimdeki tüm istasyonlar, Eskişehir Teknik Üniversitesi ile AFAD ve KOERI arasındaki protokol kapsamında mevcut Türk Ulusal Kuvvetli Hareket ve Zayıf Hareket ağına dahil edilmiştir. EstuNet istasyonları ve EstuNet Sismik Ağı tarafından ölçülen deprem veri kaynakları hakkında genel bilgi ve verilere, dünyadaki araştırmacılar için mevcut olan web sitelerinden ulaşılabilir (AFAD 2020a, AFAD 2020b, AFAD 2020c, KOERİ 2020).

4. VERİTABANI UYGULAMASI

Veritabanı, düzenli bir veri koleksiyonudur. Tipik veritabanları, çeşitli sayısal ve karakter türlerindeki verileri yönetmek için tasarlanmıştır, ancak mekansal veritabanları, mekansal veri türlerini verimli bir şekilde işlemek için geometri adı verilen ek bir işlevselliğe ihtiyaç duymaktadır.

Tablo 2: Sismik istasyonunun konumsal veritabanı modeli



Konumsal Nesne
Sismikistasyon

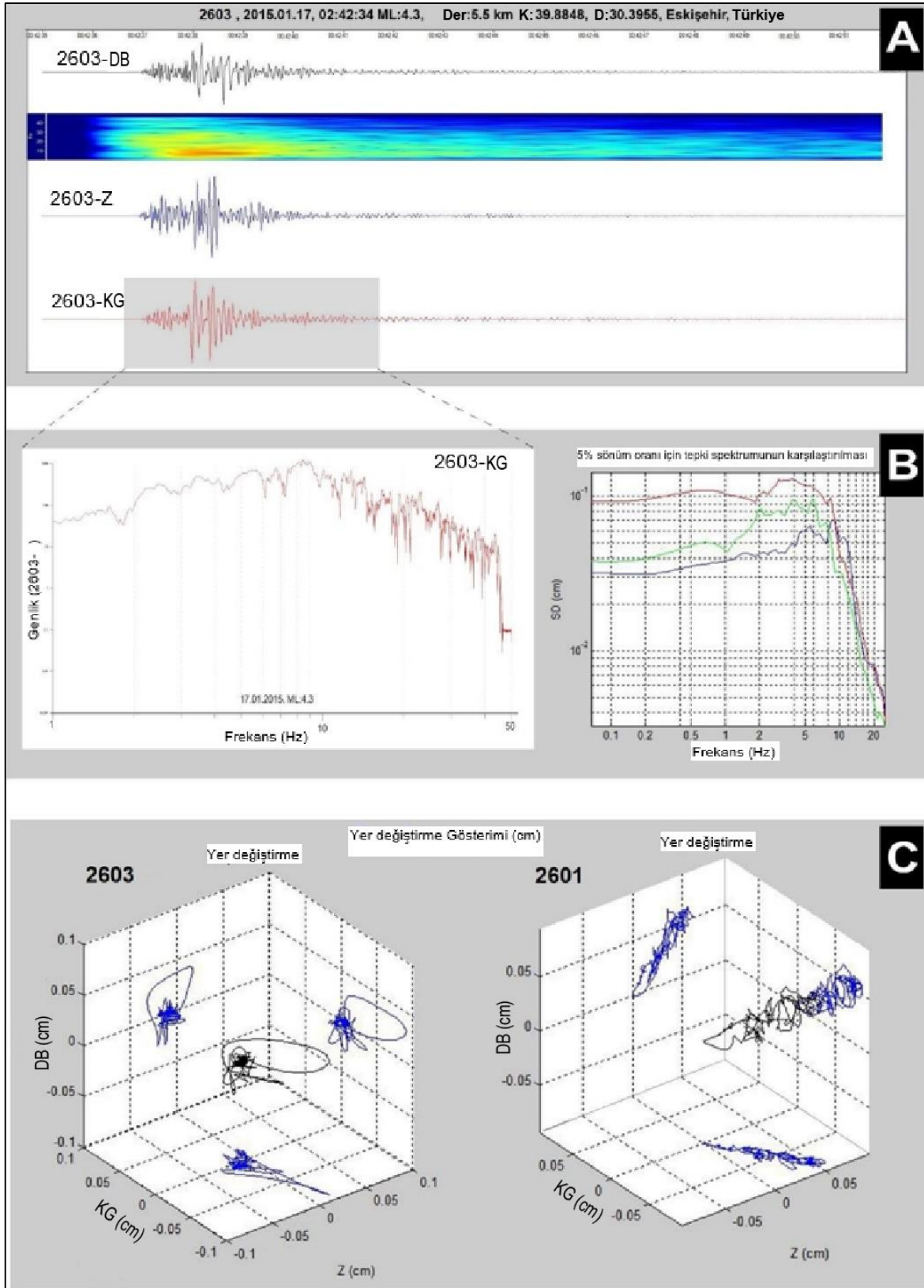
Geometri Tipi: Nokta

Alan Adı	Veri Tipi	Null veri			Etki Alanı	Hassasiyet		Uzunluk
		izni	On Tanımlı Deger	Skala				
Sismikistasyon	Akış						30	
Xkoordinat	Çift				0	0		
Ykoordinat	Çift				0	0		
Zkoordinat	Çift				0	0		
Sehir	Akış						10	
IstasyonKodu	Akış						10	
Durumu	Akış		Aktif				10	
Adres	Akış						50	
CihazKodu	Akış						10	
CihazTipi	Akış						10	
KurulumTarihi	Tarih				0	0	8	
BaglantiTipi	Akış						10	
Vs30	Çift				0	2		
ZeminSinifi	Çift				0	0		
SondajProfili	Akış						30	
Frekans	Çift				0	2		
SensorTipi	Akış						30	

Coğrafi veritabanı anlamına gelen “Konumsal Veritabanı” terimi ESRI (Çevre Sistemleri Araştırma Enstitüsü) tarafından ortaya atılmıştır. Konumsal veritabanı, coğrafi verileri yönetmek için hizmet sağlamak üzere coğrafi özellikleri ve nitelikleri temsil eden bir ArcGIS veri depolama formatı tanımlamaktadır. Konumsal veritabanında girdiler, özellikleri, davranış ve ilişkileri olan nesnelere olarak temsil edilirler (Vandegraaf 2011). Daha basit tanımlama ise bir konumsal veritabanının, çeşitli türlerde coğrafi verilerin ve coğrafi veri kümelerinin bir koleksiyonunu tanımlamak için kullanıldığını belirtir (Peters 2012). Konumsal veritabanı, ilişkisel bir veritabanındaki noktaları, çizgi veya çokgen geometrilerini içeren şekil alanlarıyla tabloları genişletir (Zeiler 2010). Konumsal veritabanı, Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) bir parçasıdır. Konumsal veritabanları, CBS'nin devam eden araştırmalarda bir iletişim aracı olarak kullanılmasına izin verir. Tablo 2, sismik istasyon özellik sınıfının niteliklerini göstermektedir.

4.1) Örnek Veri

Şekil 7'de 17 Ocak 2015 tarihinde meydana gelen deprem ($M_L=4.3$) için zaman ve frekans analizinden bir örnek gösterilmektedir. Seçilen olayın zemin ve kaynak özelliklerini analiz etmek için ivmeölçerin yatay bileşeni (2603-KG) kullanılmıştır. İki istasyondaki (2601, 2603) hareket, parçacık hareket özelliklerini çıkarmak için ekran projeksiyonunda birleştirilmiştir. Parçacık hareketinin esas yönü 2601 ve 2603 istasyonları için KB-GD'dur. 17 Ocak 2015 tarihli seçilen deprem için 2601 ve 2603 istasyonları için en yüksek yer ivmesi sırasıyla 11.8 gal ve 80.9 gal'dir.



şekil 7: 17 Ocak 2015 tarihli olayın örnek analizi (M_L=4.3) a) 2603 istasyonunun zaman alanındaki iki yatay ve dikey bileşeni, b) Genlik spektrumları ve 3 bileşen için %5 sönümlemede yanıt spektrumlarının karşılaştırılması, c) Ekran projeksiyonunda 2601 ve 2603 istasyonlarında parçaçık hareketi analizi rnekleri

5. GELECEK PLANLARI

EstuNet sismik ağında gelişmiş veri toplama ve veri iletim teknolojileri kullanılmaktadır. Bu nedenle EstuNet, Eskişehir ve Bursa bölgesinde Hızlı Müdahale ve Hasar Tahmin Sistemi'nin altyapısını oluşturacağı düşünülmektedir. EstuNet, sismik ağ verilerini kullanarak Eskişehir ve Bursa'daki depremlerle ilgili bilgiler içeren mobil uygulamalar geliştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, mobil uygulama aracılığıyla kitle kaynak kullanımı hedeflenmektedir. Dolayısıyla, EstuNet kamu yararına önem vermekte ve sosyal yaşam ile yakından ilgilenmektedir.

Eskişehir ve Bursa Havzasında 14 adet kuvvetli yer hareketi ve 3 derin kuyu deprem istasyonu kurulması ayrıca yüksek çözünürlüklü sismik çalışmaların yapılması planlanmaktadır. Eskişehir Fay Zonu (EFZ) yakınında çok amaçlı bir derin kuyu sismometre ağı sistemi ve yüzey dizilimi oluşturulacaktır. Batı Anadolu'daki KAFGS EstuNet tarafından kaydedilecek ve EFZ, KAFGS'yi çevreleyen fay bölgesinin stres durumunun, depremlerden önce meydana gelebilecek herhangi bir anormallik veya değişimi ölçülerek kaydedilecektir. Ayrıca EstuNet, bölgedeki istasyon sayısını artırarak yakın gelecekte farklı jeolojik sedimanlardan kaynaktan istasyona dalga yayılımının tahmininde Eskişehir ve Bursa Havzası'nda Q-faktör analizi çalışmalarına ve acil durum müdahalesine katkıda bulunacaktır. Veri toplama ve işleme sistemi, deprem konumlarını ve büyüklüklerini bildirmek ve sarsıntı haritalarını hesaplamak için ek sunucularla birlikte geliştirilecektir. EstuNet projesi, deprem sonrası birkaç dakika içinde hızlı tepki için kullanılan yer sarsıntı haritaları, fiziksel hasar ve kayıplar haritaları ile bölgedeki 35 kuvvetli yer hareketi kayıtçısını içeren deprem hızlı tepki sisteminden doğrudan faydalanacaktır. Zararın hızlı bir şekilde tahmin edilmesi, etkili acil durum müdahalesi ve halkın bilgilendirilmesini sağlayacaktır. Bu yerel dizilim, deprem sırasında PGA değerlerinin dağılımından tam olarak yararlanmak ve şehrin kritik yerleşim alanlarını ortaya çıkarmak için kullanılacaktır (Ulusay ve diğ. 2004).

6. SONUÇLAR

Eskişehir ve Bursa bölgesinde, Mart 2005- Eylül 2014 tarihleri arasında EstuNet güçlü ve zayıf hareket ağı kurulmuştur. Bu ağ, mühendislik ve güçlü / zayıf hareket sismolojisinde araştırma ve uygulamalar için oldukça faydalı veriler sağlamaktadır. Eskişehir, Bursa ve çevresinde meydana gelen ve EstuNet istasyonları tarafından kaydedilen bazı depremlerin konum parametreleri Tablo 3'te listelenmiştir. Depremlerin çoğu düşük PGA ve magnitüd değerleri göstermektedir.

Bölgede meydana gelen güçlü bir deprem sonrasında doğru merkez üssü yerleri oluşturmak ve hasar tahmin haritaları üretmek için Eskişehir ve Bursa Havzası yakınlarında ek istasyonlar kurulması planlanmaktadır. EstuNet, AFAD'ın ulusal kuvvetli/zayıf hareket ağının bir parçasıdır. Gelecek planları kapsamında ulusal ağın gelişimine ve iyileştirilmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

Tablo 3: EstuNet kuvvetli/zayıf yer hareketi ağı tarafından kaydedilen seçilmiş deprem konumları (M: Büyüklük, PGA: En büyük yer ivmesi)

No	Tarih (G.A.Y)	Zaman (sa:dk)	M	Derinlik (km)	Enlem (°, K)	Boylam (°, D)	PGA (gal)	İstasyon Kodu
1	09.03.2008	18:40	3.1	2.5	39.7582	30.5368	17.2	2604
2	07.02.2010	17:21	3.7	5.0	39.7450	30.5085	79.4	2601
3	14.02.2010	20:24	3.3	18.8	39.7360	30.5440	29.9	2601
4	12.12.2010	12:20	3.0	7.5	39.7535	30.4868	51.3	2601
5	19.05.2011	12:32	3.0	5.0	39.8382	30.3770	23.7	2610
6	19.05.2011	20:15	5.7	24.5	39.1328	29.0820	14.7	2606
7	28.05.2011	05:47	4.7	23.0	39.1215	29.0408	2.1	2611
8	27.06.2011	21:13	5.0	44.5	39.1108	29.0820	3.5	2606
9	16.04.2012	10:11	4.7	6.0	39.1368	29.1527	2.4	2611
10	19.04.2012	19:53	4.5	3.5	39.1260	29.1448	1.4	2606
11	27.04.2012	22:05	4.9	7.5	39.1192	29.0815	2.4	2606
12	03.05.2012	15:20	5.1	3.1	39.1747	29.0918	2.8	2606
13	04.05.2012	21:46	4.7	11.6	39.1572	29.0840	3.1	2611
14	16.11.2012	01:53	3.3	19.8	39.7700	30.3770	18.5	2601
15	01.03.2013	12:37	3.5	8.1	39.7287	30.6437	5.8	2615
16	10.05.2013	20:16	3.5	8.1	39.8180	30.5051	19.7	2602
17	14.06.2013	17:13	3.0	5.0	39.8500	30.5525	41.3	2601
18	25.07.2013	05:00	3.4	5.4	39.8248	30.5222	98.4	2601
19	07.08.2013	05:20	4.4	7.6	39.1968	29.4495	2.2	2606
20	17.08.2013	18:16	4.1	5.7	40.4095	29.1213	71.6	OSG4
21	24.05.2014	09:25	6.5	25.5	40.3035	25.2801	8.0	2601
22	11.12.2014	05:01	3.9	5.5	39.8257	30.5222	176.6	2601
23	17.01.2015	00:42	4.3	4.3	39.8848	30.3955	80.7	2603

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, proje numaraları 080240, 1105F107 ve 1401F026 olan projeler kapsamında Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü çalışanlarına istasyon çalışmalarında gösterdikleri yardımlar için teşekkür ediyoruz.

KAYNAKLAR

AFAD, 2020a. Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/istasyonlar>

AFAD, 2020b. Erişim adresi: <https://tadas.afad.gov.tr>

AFAD, 2020c. Erişim adresi: <https://tdvms.afad.gov.tr>

Altunel E., Barka A., 1998. Eskişehir fay zonunun İnönü-Sultandere arasında neotektonik aktivitesi, *Geological Bulletin of Turkey* 41-52.

Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F., 2013. Active Fault Map of Turkey with Explanatory Text., in: Special Publication Series-30, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.

Gok E., Polat O., 2012. Microtremor HVSr Study of Site Effects in Bursa City (Northern Marmara Region, Turkey), INTECH Open Access Publisher.

Guralp Systems, 2020. Erişim adresi: <https://www.guralp.com>

KOERİ, 2020. Erişim adresi: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr>

McKenzie D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 30, 109-185.

Ocakoglu F., 2007. A re-evaluation of the Eskisehir Fault Zone as a Recent extensional structure in NW Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences* 31, 91-103.

Ocakoglu F., Altunel E., Yalçiner Ç., 2005. Eskişehir bölgesinin neotektonik dönemdeki tektono-stratigrafik ve sedimantolojik gelişimin: Final Raporu, Osmangazi Üniversitesi, Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu, pp. 122.

Ocakoglu F., Acikalin S., 2010. Field evidences of secondary surface ruptures occurred during the 20 February 1956 Eskisehir earthquake in the NW Anatolia, *Journal of Earth System Science* 119, 841-851.

Okay A.I., Satir M., Zattin M., Cavazza W., Topuz G., 2008. An Oligocene ductile strike-slip shear zone: The Uludağ Massif, northwest Turkey-Implications for the westward translation of Anatolia, *Geological Society of America Bulletin* 120, 893-911.

Orhan A., Seyrek E., Tosun H., 2007. A probabilistic approach for earthquake hazard assessment of the Province of Eskisehir, Turkey, *Natural Hazards and Earth System Science* 7, 607-614.

Ozturk K., Yaltirak C., Alpar B., 2009. The relationship between the tectonic setting of the Lake Izmir Basin and the Middle Strand of the North Anatolian Fault, *Turkish Journal of Earth Sciences* 18, 209-224.

Öcal N., 1959. 20 Şubat 1956 Eskişehir Zلزeleri'nin Makro ve Mikrosismik Etüdü, in, T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi, İrfan Matbaası İstanbul, pp. 45.

Pekkan E., Tun M., Guney Y., Mutlu S., 2015, Integrated seismic risk analysis using simple weighting method: the case of residential Eskisehir, Turkey, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 15, 1123-1133, <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1123-2015> , 2015.

Peters D., 2012. Building a GIS: System architecture design strategies for managers, ESRI, Inc. (second edition).

Polat O., Ceken U., Uran T., Gok E., Yilmaz N., Beyhan M., Koc N., Arslan B., Yilmaz D., Utku M., 2009. IzmirNet: a strong-motion network in metropolitan Izmir, Western Anatolia, Turkey, *Seismological Research Letters* 80, 831-838.

SeisComP, 2020. Erişim adresi: www.seiscomp3.org

Seyitoglu G., Ecevitoglu G.B., Kaypak B., Guney Y., Tun M., Esat K., Avdan U., Temel A., Cabuk A., Telsiz S., 2015. Determining the main strand of the Eskisehir strike-slip fault zone using subsidiary structures and seismicity: a hypothesis tested by seismic reflection studies, *Turkish Journal of Earth Sciences* 24, 1-20.

Şaroğlu F., Emre Ö., Kuşcu İ., 1992. Active Fault Map of Turkey with Explanatory Text., in, Mineral Research and Exploration General Directorate, Ankara, Turkey.

Tokay F., Altunel E., 2005. Neotectonic activity of Eskişehir fault zone in vicinity of İnönü-Dodurga area, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey* 130, 1-15.

Tün M., 2013. Interpretation of Ground Response and Shear-Wave Velocity (Vs) Structure In Microzonation Studies: A Case Study İn Eskişehir, in: Graduate School of Sciences, İstanbul University, İstanbul, pp. 353.

Ulusay R., Tuncay E., Sonmez H., Gokceoglu C., 2004. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey, *Engineering Geology* 74, 265-291.

Vandegraft D.L., 2011, A Cadastral Geodatabase for the US Fish and Wildlife Service, *Cartography and Geographic Information Scienc*, 38, 313-319.

Yaltirak C., 2002, Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings, *Marine Geology* 190, 493-529.

Zeiler M., 2010. Modeling our world: the ESRI guide to geodatabase concepts, ESRI press.

**TÜRK
DEPREMİ
ARAŞTIRMA
DERGİSİ**

**TURKISH
JOURNAL OF
EARTHQUAKE
RESEARCH**