

KIRIKKALE İLİ YERLEŞİM ALANI İÇİN EN BÜYÜK İVME, ZEMİN BÜYÜTMESİ VE HAKİM TİTREŞİM PERİYODU ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yetiş Bülent SÖNMEZER¹, Sami Oğuzhan AKBAŞ² Nihat Sinan IŞIK³

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

³Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

bsonmezer@kku.edu.tr, soakbas@gazi.edu.tr, nihatsinan@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 19.03.2015; Kabul/Accepted: 13.08.2015)

ÖZET

Kırıkkale, deprem üretme potansiyeli yüksek Kuzey Anadolu, Bala, Seyfe, Karakeçili, Kırıkkale-Sungurlu ve Keskin gibi önemli fay zonlarına mesafesi nedeniyle deprem tehlikesi yüksek olan bir şehirdir. Bu çalışmada; Kırıkkale il merkezi zeminlerinin dinamik davranış özelliklerini belirlemek ve yeni yerleşim alanları ile yapılaşmaya yol gösterici olmak amacıyla derlenen 107 sondaj, 15 sismik kırılma ve 6 aktif kaynaklı yüzey dalgası yöntemi (MASW) verisinden elde edilen jeoteknik ve jeofizik veriler kullanılarak, eşdeğer doğrusal analiz yöntemiyle tek boyutlu sismik tepki analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde; azalım ilişkilerinden elde edilen hedef spektrumla ölçekli 7,14 moment büyüklüğüne (M_w) sahip 1999 Düzce Depreminin Lamont-1061 kaydı kullanılmış ve inceleme konusu bölgenin en büyük yer ivmesi, zemin büyütmesi ve zemin hakim periyotları değerlendirilerek haritalanmıştır. Hazırlanan haritalarda çalışma alanında genel olarak yüksek ivme ve orta-yüksek periyot değerleri gözlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Büyütme, en büyük yer ivmesi, sismik tepki analizi, hakim titreşim periyodu, Kırıkkale

ASSESSMENT OF THE PEAK ACCELERATION, AMPLIFICATION RATIO AND FUNDAMENTAL PERIOD PROPERTIES FOR THE KIRIKKALE PROVINCE SETTLEMENT AREA

ABSTRACT

Due to its proximity to active fault zones such as Bala, Seyfe, Karakeçili, Kırıkkale-Sungurlu and Keskin, the province of Kırıkkale is classified within the highest earthquake hazard zone in accordance to the Turkish Earthquake Code. In this study; a site-specific site response analysis was performed using equivalent linear method to estimate the local site effects on seismic ground motions and for guidance to the future construction activities. For this purpose, geotechnical and geophysical data compiled from 107 soil exploration borings, 15 seismic refraction and 6 MASW tests were employed. In the analyses, the ground motion record of the 1999 Düzce Earthquake from the Lamont-1061 station was used. The spatial distribution of peak ground acceleration, soil amplification ratio and the fundamental period are presented as maps. The results indicate high ground acceleration and medium-high period values within the study area.

Keywords: Amplification, peak ground acceleration, seismic response, fundamental period, Kırıkkale

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sismik yer hareketlerinin yapılarda oluşturdukları etkilerin, yüzeye yakın zemin seviyelerinin kalınlıkları ve fiziksel özelliklerinden önemli derecede etkilendiği bilinmektedir. Bu sebeple,

depreme dayanıklı yapı tasarımında yerel zemin koşullarının dikkate alınması, önlemlerin optimizasyonu ve deprem zararlarının azaltılması açısından önemli bir rol oynamaktadır. Kentsel yerleşim alanlarının birçoğu yumuşak ve pekişmemiş genç alüvyon seviyelerinin üzerine konumlanmış

bulduğundan, bu bölgeler sismik yer hareketlerine maruz kaldığında ciddi zararlar ortaya çıkabilmektedir. Yerel zemin koşullarının etkisini gösteren görece yakın tarihli örnekler 1985 Michoacan (Meksika) ve 1989 Loma Prieta (Kaliforniya, ABD) depremleridir. Mexico City şehrinde yumuşak kil seviyelerinin neden olduğu yüksek zemin büyütmesi oranları, yapılarda çok büyük hasarların oluşmasına ve birçok insanın yaşamını yitirmesine neden olmuştur. Özellikle 1985 Michoacan ve 1989 Loma Prieta depremlerini takiben gerçekleştirilen zemin tepkilerine ilişkin ayrıntılı incelemeler, yerel zemin şartlarının en büyük ivme genliklerini ve tepki spektrumlarının genlik ve şekillerini önemli düzeyde etkilediğini çok açık bir şekilde göstermektedir [1]. Sismik aktivitenin yüksek olduğu Türkiye’de özellikle 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremini takiben, yerel zemin koşullarını ortaya koymaya yönelik çok sayıda mikrobölgeleme çalışması yapılmıştır. Bunlara örnek olarak İstanbul’da Avcılar [2] ve Zeytinburnu [3] ile Adapazarı [4] merkezli çalışmalar verilebilir. Tüm bu çalışmaların amacı; zemin büyütmesine, hakim periyoda, makaslama dalgası hızının dağılımına, sıvılaşma ve heyelan potansiyeline bağlı olarak bölgenin sismik tehlikesinin değerlendirilmesidir.

Kırıkkale ili, şehre uzaklıkları yaklaşık 5 km olan Karakeçili, Kırıkkale-Sungurlu Fay Zonu ve Keskin Fayı ile uzaklıkları 50 km olan Bala Fayı ve Seyfe Fay Zonu tektonik yapıları ile çevrilidir. 19 Nisan 1938 tarihinde Kırşehir’e bağlı Akpınar ilçesinin 2 km KB’da gerçekleşen yüzey dalgası büyüklüğü (Ms) 6,8 olan depremin, Kırıkkale’ye mesafesi sadece 50 km’dir. Bu sebeple, Kırıkkale yerleşim alanının zemin büyütmesi ve hakim periyot karakteristiklerinin

belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla, bölgede yapılan sismik kırılma, aktif kaynaklı yüzey dalgası yöntemi (MASW) ve SPT sonuçlarından elde edilen veriler ışığında tek boyutlu eşdeğer doğrusal analizler yapılarak dinamik zemin davranışı karakterize edilmeye çalışılmış ve Kırıkkale ili yerleşim alanı için zemin büyütmesi, hakim periyot ve en büyük yer ivmesi haritaları hazırlanmıştır.

1.1 Çalışma Alanının Tanıtımı (Description of the Study Area)

Kırıkkale, İç Anadolu bölgesinde başkent Ankara’dan 70 km uzaklıkta konumlanmış, nüfusu 188000, deniz seviyesinden yüksekliği 700 m olan bir şehirdir (Şekil 1). Şehir, konum olarak Türkiye’nin batı bölgelerini Doğu Anadolu’ya, Karadeniz’e ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ne bağlayan ulaşım ağlarının merkezinde bulunmakta ve önemli endüstri kuruluşlarından Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu’nun silah, mühimmat, ağır silah, çelik, pirinç ve barut fabrikaları ile TÜPRAŞ’a ait Kırıkkale Rafinerisi de il sınırları içinde bulunmaktadır.

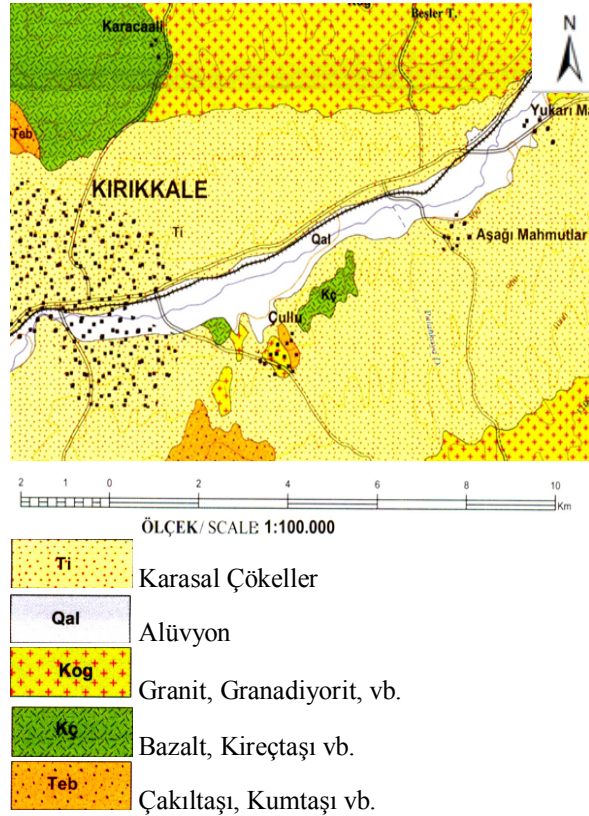
1.2 Jeoloji (Geology)

Kırıkkale ili ve civarında yüzeyleyen birimlerin en altında Kırşehir masifinin en üst kesimini oluşturan ve Bozçaldağ formasyonu olarak adlandırılan mermerler bulunur [5, 6, 7]. Bu formasyonun üzerinde çoğunlukla açık-koyu yeşil, nadiren değişik renkli mikrogabro-diyabaz, bazalt ve kalınlığı 5 m’yi geçmeyen ve volkanosedimanter topluluğundan oluşan Çiçekdağ formasyonu bulunmaktadır. Bozçaldağ ve Çiçekdağ formasyonları, Senoniyen yaşlı granit, granodiyorit, siyenit türü derinlik ve yarı derinlik plütonik kayalardan oluşur ve Orta Anadolu



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası (The location map of the study area)

granitoidleri olarak adlandırılan intrüzyonlar tarafından kesilir [8]. Kırıkkale'nin kuzey bölümünde ise Ankara grubunu oluşturan birimler yüzeylenir [9]. Tüm bu birimler Kuvaternere ait çakıl, kum ve kil birimleri (alüvyon) tarafından uyumsuzlukla örtülürler [10]. Çalışma alanının basitleştirilmiş jeoloji haritası Şekil 2'de verilmiştir. DSİ tarafından bölgede yapılan su sondajlarında anakaya derinliğinin yaklaşık 120 m civarında olduğu tespit edilmiş ve bu çalışmada yapılan yer tepki analizlerinde de bu veri kullanılmıştır.



Şekil 2. Kırıkkale ve yakın civarının jeoloji haritası (Geological map of Kırıkkale and its close vicinity) [11]

1.3 Tektonik ve Depremsellik (Tectonics and Seismicity)

Kırıkkale, kuzeyden 1700 km uzunlukta, 1-110 km genişlikte, sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay zonu [12], güneydoğudan Seyfe [13], doğudan Kırıkkale-Sungurlu [14], güneyden ise Tuz Gölü Fay Zonları ve Keskin Fayı, güneybatıdan da Bala ve Karakeçili Fayları [15], tarafından çevrilmiş durumdadır (Şekil 3). Son yıllarda Kırıkkale yerleşim alanının da yer aldığı Anadolu plakası konusunda yapılan çalışmalar, plaka içinde iki ayrı neotektonik rejimin olduğunu ve bu rejimleri temsil eden ve yıkıcı deprem üretme potansiyeline sahip aktif fayların varlığını ortaya koymuştur [14].

Bu nedenle Kırıkkale bölgesi, sadece plaka sınırlarını oluşturan fayların değil, aynı zamanda plaka içi faylardan kaynaklanacak depremlerin de tehdidi altındadır. Plaka içi fayların ürettiği depremlerin en

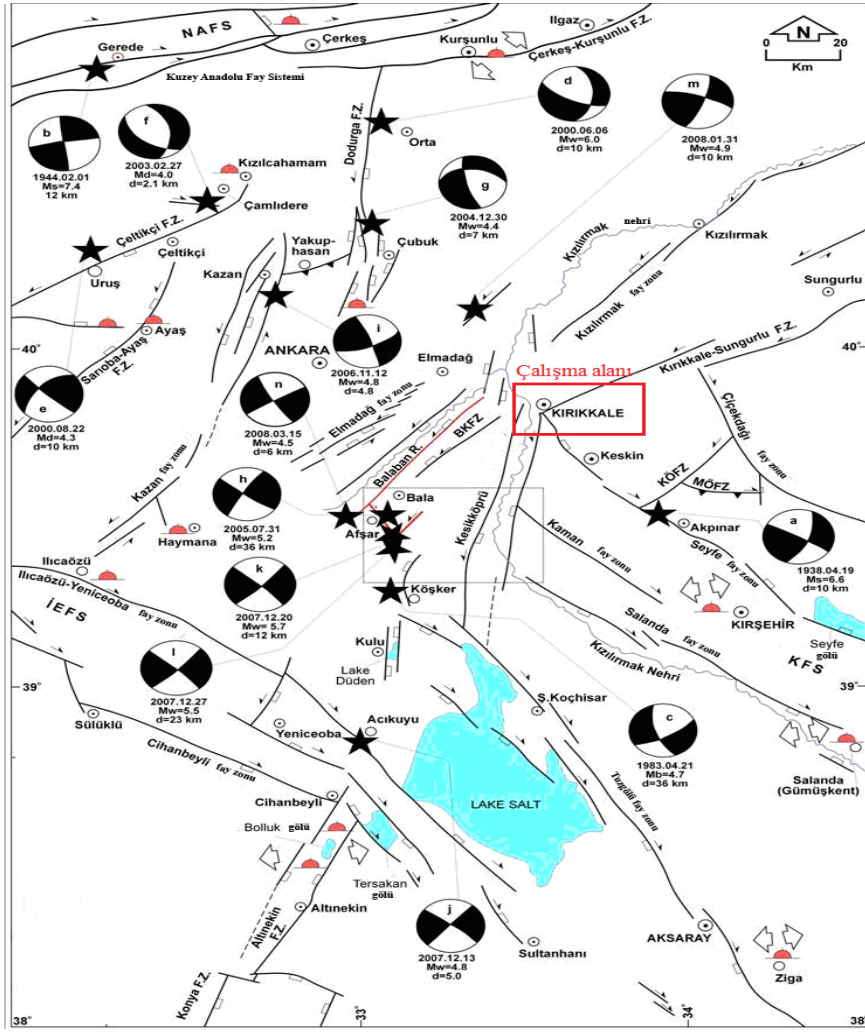
belirgin örneklerinden olan ve 19 Nisan 1938 tarihinde Ms 6,8 büyüklüğünde meydana gelen Akpınar Depremi, Seyfe Fay Zonu'nun kuzeybatısında yer alan Akpınar'dan Taşkovan'a kadar uzanan yaklaşık 14 km uzunluğundaki Akpınar Fay Segmentinde meydana gelmiştir [16]. Bunun dışında bölgeden 150 km uzaklıkta KAFZ'da 1 Şubat 1944'de meydana gelen Ms 7,2 büyüklüğündeki Gerede-Çerkeş(Bolu) depremi, 125 km uzaklıkta KAFZ'da 13 Ağustos 1951'de meydana gelen Ms 6,9 büyüklüğündeki Kurşunlu (Çankırı) depremi, 85 km uzaklıkta KAFZ'da 6 Haziran 2000'de meydana gelen Ms 6,1 büyüklüğündeki Orta (Çankırı) depremi, 55 km uzaklıkta Bala Fayında 20 Aralık 2007'de meydana gelen Ms 5,7 büyüklüğündeki Bala(Ankara) depremi ve Ms=5 civarında oluşan çok sayıda deprem bölgedeki sismik aktiviteyi göstermektedir.

2. YÖNTEM (METHODOLOGY)

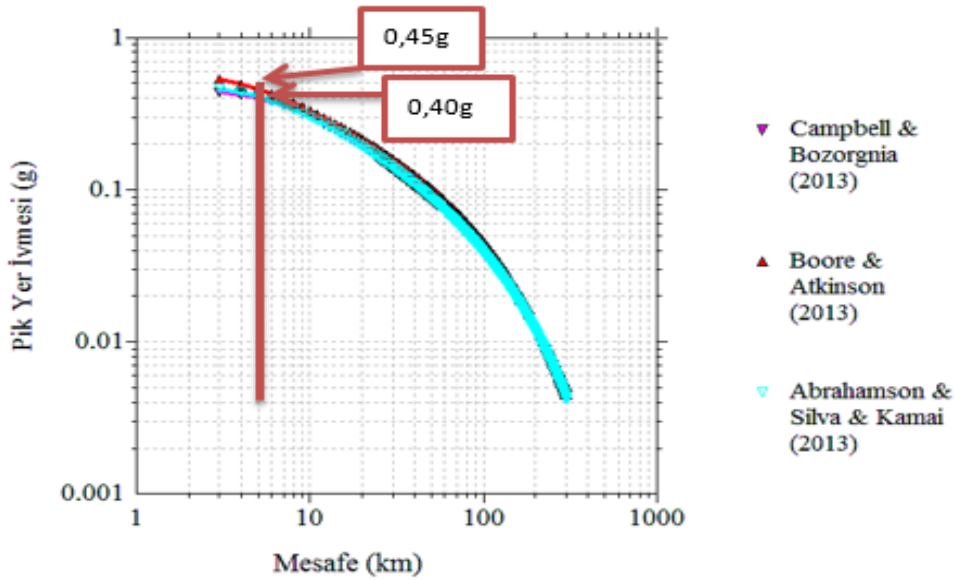
2.1 En Büyük Yer İvmesinin Tahmini (Estimation of the Peak Ground Acceleration)

Deprem tehlikesini belirlemeye yönelik olarak yapılan çalışmaların ilk aşaması deprem dalgalarının mekânsal değişimini modellemektir. Bu değişim azalım ilişkileri kullanılarak dikkate alınmaktadır. Azalım ilişkilerinde genellikle deprem büyüklüğü, kaynağa uzaklık, kaynak mekanizması ve yerel zemin koşulları göz önünde bulundurularak, kuvvetli yer hareketinin ivme, hız ve yer değiştirme parametreleri belirlenmektedir. Sismik tehlike analizlerinde yaygın olarak belli bir bölge için en büyük yer ivmesi ve/veya genellikle inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılan spektral ivme (S_a) belirlenir [17]. Çalışma alanında en büyük yer ivmesini ve S_a 'yı tahmin etmek için Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) tarafından NGA-West2 projesi kapsamında geliştirilen ve aktif tektonik bölgelere ait çok geniş bir veri tabanını kullanan, "Abrahamson vd. (2013)", "Boore vd. (2013)" ve "Campbell ve Bozorgnia (2013)" [18], azalım ilişkileri kullanılmıştır. En büyük yer ivmesinin (PGA) deprem kaynağından uzaklığa bağlı değişim grafiği Şekil 4'de, hedef spektrum ise "Abrahamson vd. (2013)", "Boore vd. (2013)" ve "Campbell ve Bozorgnia (2013)" [18], azalım ilişkilerinden elde edilen spektrumların geometrik ortalaması alınarak oluşturulmuş ve Şekil 5'de verilmiştir.

Çalışma alanında yüzeydeki en büyük yer ivmesi, çalışma alanına uzaklıkları yaklaşık 5 km olan Kırıkkale-Sungurlu Fay Zonu ve Karakeçili Faylarında, bir sonraki bölümde açıklanacak olan muhtemel M_w 7 büyüklüğündeki bir senaryo depreme, "Abrahamson vd. (2013)" ve "Boore vd. (2013)" göre 0,40 g ve "Campbell ve Bozorgnia (2013)" göre 0,45 g olarak belirlenmiş ve Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Kırıkkale etrafındaki önemli depremlerin merkez üssü dağılımı
(The distribution of the epicenters of major earthquake around Kırıkkale) [14]

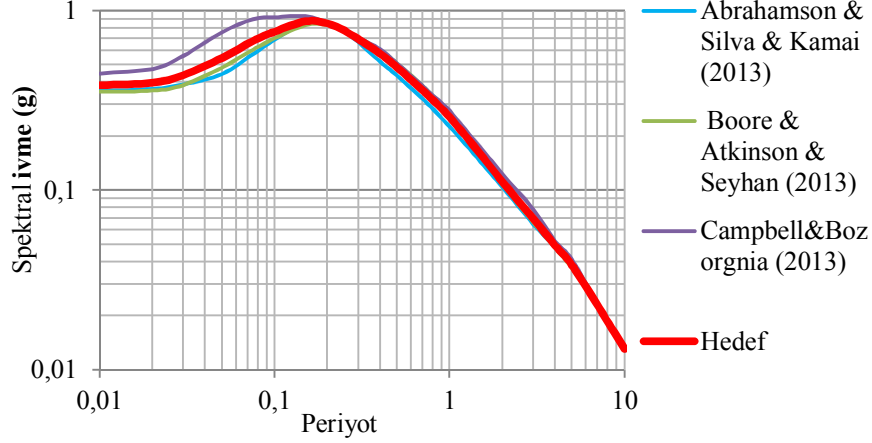


Şekil 4. En büyük yer ivmesininin uzaklıkla değişimi (Attenuation of the peak ground acceleration)

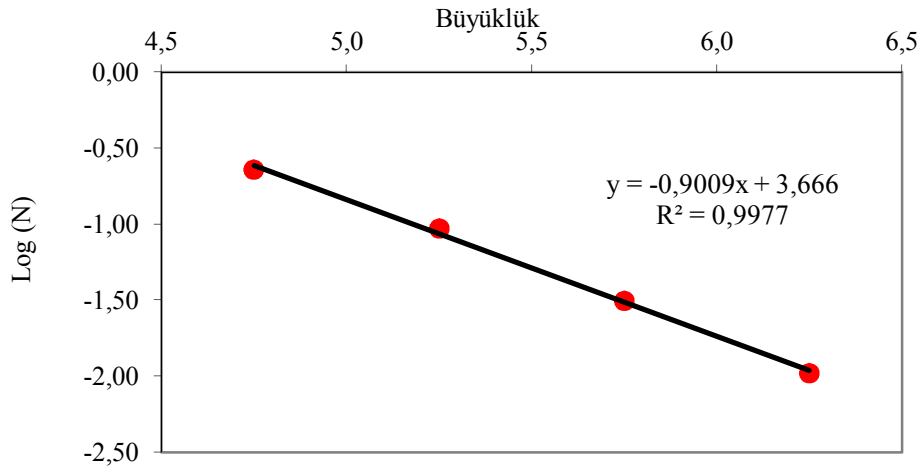
2.2 Kullanılacak Deprem Kaydının Belirlenmesi (Selection of the Earthquake Motion)

Türkiye’de farklı bölgelerde birçok araştırmacı tarafından sismik tehlike analizleri

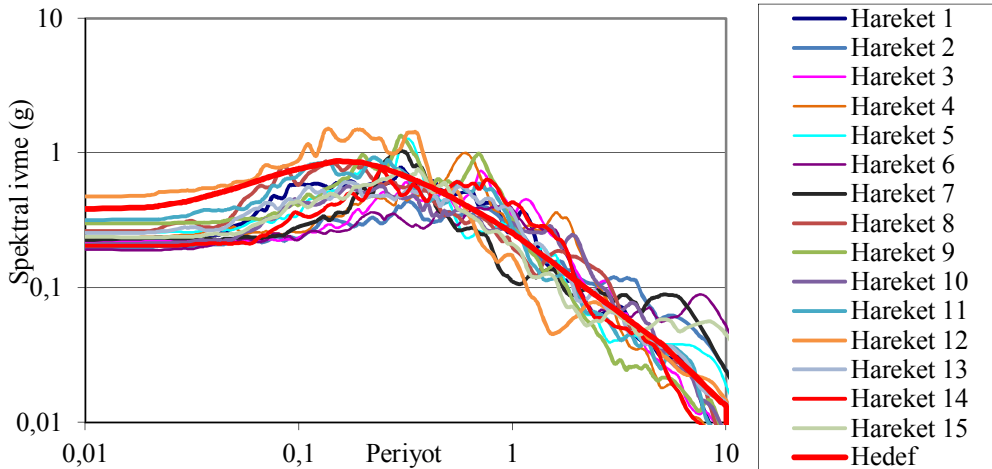
gerçekleştirilmiştir. Ancak, yazarların bilgisi dahilinde, Kırıkkale’de bu yönde yapılmış benzer herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Sismik tehlike analizlerindeki en önemli sorun bölgedeki temsili deprem kaydının seçilmesi ile ilgilidir. Bu çalışmada



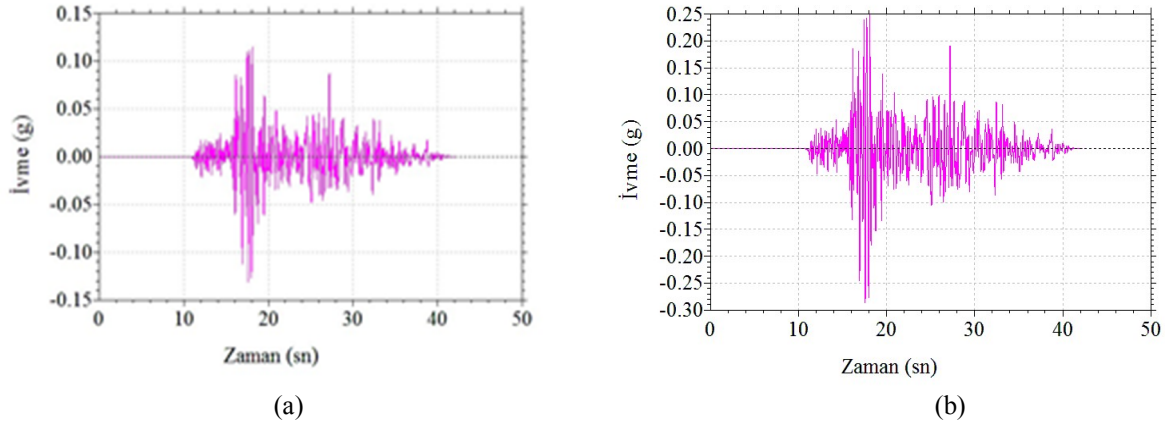
Şekil 5. Azalım ilişkilerine göre hedef spektrum için spektral ivme-periyot grafiği
(Spectral acceleration-period graph for the target spectrum with respect to attenuation relationships)



Şekil 6. Deprem büyüklüğü-oluşum sayısı ilişkisi (Earthquake magnitude- number of occurrence relationship)



Şekil 7. Ölçekli deprem kayıtlarının spektral ivme, periyot grafikleri
(Period, Spectral acceleration graphs of scaled earthquake records)



Şekil 8. (a) Düzce depremi Lamont-1061 istasyonu kaydı ivme zaman grafiği (b) ölçekli ivme zaman grafiği
(a) Düzce earthquake Lamont-1061 station record acceleration time history records (b) scaled acceleration time history

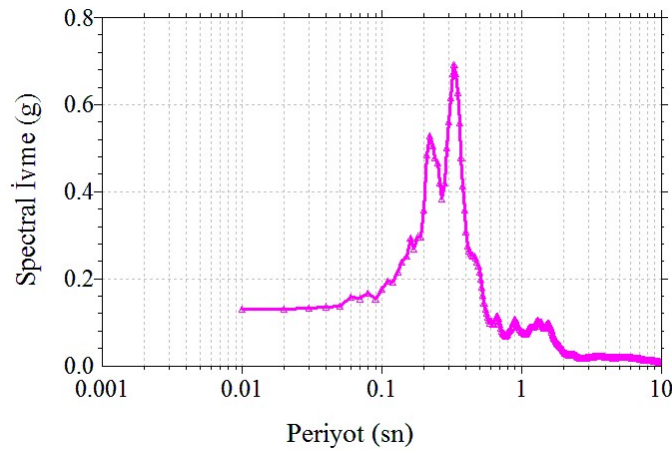
Kırıkkale'nin etrafındaki 100 km'lik dairesel bir alan içerisinde aletsel dönemde (>1900) meydana gelen depremler, Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD), Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü ve United States Geology Survey (USGS)'e ait kataloglardan elde edilmiştir. Kataloglardan elde edilen ($M_w > 4$) ham veriler karşılaştırılarak tekrarlar önlenmiştir. Değişik kataloglarda, farklı ölçeklerde verilen deprem büyüklüğü değerleri, Deniz ve Yüçemen (2010) [19] tarafından çok geniş bir veri tabanı kullanılarak geliştirilen dönüşüm ilişkileri ile moment büyüklüğü (M_w) ölçeğine dönüştürülmüştür. Poisson modelinin bağımsızlık koşulunu sağlaması için zaman ve yer olarak ana şok etrafında benzer dağılım gösteren öncü ve artç depremler, Deniz (2006) [20] tarafından önerilen zaman ve uzaklık pencerelerinin boyutları kullanılarak kataloglardan ayıklanmıştır. Deprem oluşum sayısı büyüklük ilişkisini veren ve Gutenberg ve Richter (1956) tarafından geliştirilen Eşitlik 1 [21] kullanılarak a ve b parametreleri belirlenmiş ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

$$\text{Log}N = a - b.M$$

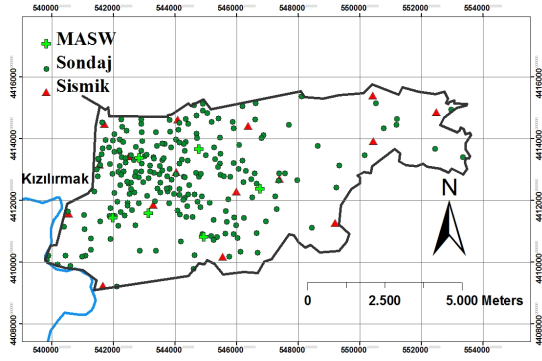
(1)

Elde edilen $\text{Log}N = 3,621 - 0,9009M$ bağıntısı kullanılarak Poisson olasılık dağılımına göre Kırıkkale'de 50 yıl içerisinde %10 aşılma olasılığına göre meydana gelecek depremin büyüklüğü M_w 7 olarak tespit edilmiştir. PEER web sitesinden, 7 büyüklüğe, 5 km uzaklığa ve bölgenin zemin özelliklerine göre "Abrahamson vd. (2013)", "Boore vd. (2013)" ve "Campbell ve Bozorgnia (2013)" azalım ilişkileri kullanılarak hedef spektrum belirlenmiştir.

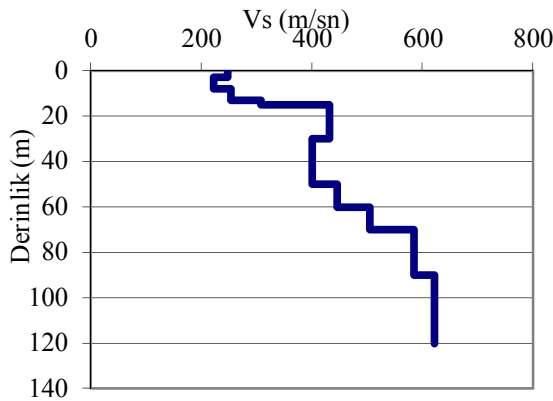
Belirlenen hedef spektrumla ölçeklendirilmiş 15 deprem kaydı kullanılarak kayıtların spektral ivme-periyot grafikleri Şekil 7'de görüldüğü gibi çizilmiştir. Bu kayıtlar içerisinde ana kaya hareketi olarak hedef spektrumla ölçeklendirilmiş 0,286 g en büyük yer ivmesine sahip M_w 7,14 olan 1999 Düzce depreminin Lamont-1061 istasyonu kaydı seçilmiş ve tepki analizleri gerçekleştirilmiştir. İstasyondaki deprem kaydının ölçekli ve ölçeksiz ivme-zaman grafiği Şekil 8a ve 8b de, %5 sönüm oranı için spektral ivme periyot grafiği de Şekil 9'da verilmiştir



Şekil 9. % 5 sönüm oranı için 1999 Düzce depreminin tepki spektrumu
(The response spectrum of the 1999 Düzce earthquake for 5% damping)



Şekil 10. Sondaj, MASW ve sismik kırılma ölçümlerinin yapıldığı lokasyonlar (Locations of the broholes, seismic refraction and MASW)



Şekil 11. MASW ölçümleri sismik profil örneği (An example for seismic profile from MASW)

2.3 Jeoteknik Veriler (Geotechnical Data)

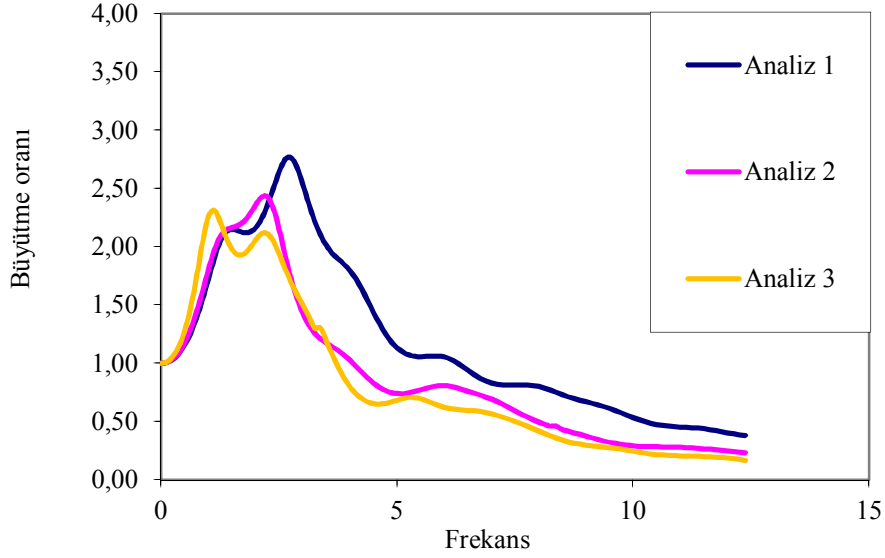
Kırıkkale yerleşim alanı zeminlerinin jeoteknik özelliklerini belirlemek için bölgede 107 noktada gerçekleştirilen sondajlardan elde edilen indeks, sınıflandırma ve SPT, 15 noktadaki sismik kırılma ve Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından (Proje No: 2014/54) desteklenen proje kapsamında 6 noktada yapılan MASW ölçümlerinden elde edilen veriler kullanılmıştır (Şekil 10). Bölgede sondajlar için ortalama, en büyük ve en küçük derinlikler sırasıyla 15 m, 20 m ve 10 m'dir. Sondajlardan elde edilen 512 zemin örneği üzerinde Atterberg Limitleri, 812 örnek üzerinde ise elek analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre zeminlerin % 86'sının ince taneli olduğu, ağırlıklı olarak düşük (CL) yer yer de yüksek plastisiteli kil (CH) olarak sınıflandırılacakları belirlenmiştir. Zemin tepki analizlerinde çok önemli parametreler olan zemin katmanının kalınlığı ve makaslama dalgası hızını belirlemeye yönelik olarak sismik kırılma ve MASW ölçümlerinden yararlanılmıştır. Sismik kırılma yönteminde 24 kanallı RAS-24 cihazı kullanılırken, MASW yönteminde ise Geometrics GEODE 24 kanallı cihaz kullanılmıştır. Bölgede yapılan MASW ölçümlerinden elde edilen makaslama dalgası hızının derinlikle değişimini gösteren bir örnek Şekil 11'de sunulmuştur.

3. DİNAMİK ZEMİN DAVRANIŞI ANALİZLERİ (DYNAMIC GROUND BEHAVIOR ANALYSES)

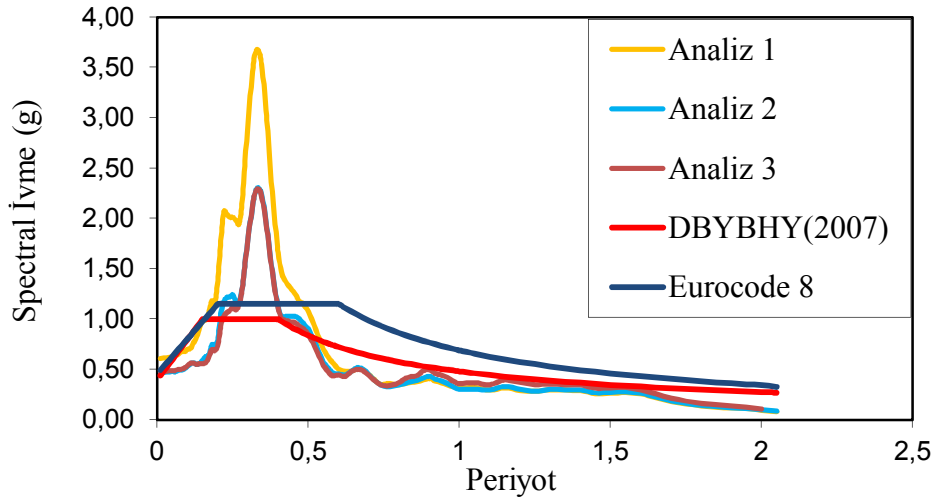
Zeminler deprem esnasında ana kayadan gelen sismik dalgaların genliklerini büyütebilir veya sönmüleyebilirler. Söz konusu genlik değişimi veya büyütmeyi belirlemek için, eşdeğer doğrusal analiz yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntem, zemin katmanlarının makaslama dalgası hızı, kalınlığı ve bu katmanlar için zemin türüne, plastisite indisine veya efektif gerilmeye bağlı olarak çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş makaslama modülü oranı (G/G_{max}) ve sönmü oranının makaslama birim deformasyonu ile değişimini gösteren ilişkilere ihtiyaç duymaktadır. Makaslama modülü ve sönmü oranları çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmış olup, literatürde verilen bu değerler, zeminin efektif çevre basıncı, boşluk oranı, plastisitesi, jeolojik yaşı ve tekrarlı birim deformasyon seviyesine bağlı olarak değişim göstermektedir [22, 23]. Çalışma alanında sondajların yapıldığı 107 lokasyonun her birinde yer tepki analizleri gerçekleştirilmiş ve zeminin büyütme oranları ve zemin hakim periyotları belirlenmiştir. Anakaya hareketi olarak hedef spektrumla ölçekli 12/11/1999'da M_w 7,14 büyüklüğünde meydana gelen 1999 Düzce depreminin Lamont-1061 kaydı kullanılmıştır. Shake2000 [24] programıyla yer tepki analizleri yapılırken üç seri analiz gerçekleştirilmiştir: I. seri analizlerde Darendeli (2001) [23] tarafından önerilen makaslama modülü oranı ve sönmü oranı eğrileri kullanılmıştır. Bu analizde makaslama dalgası hızının 30 m den anakayaya (120 m) kadarki derinlik boyunca değişimi, efektif gerilmeye bağlı olarak, Eşitlik 2'de gösterildiği gibi, Robertson vd. (1992) [25] normalize makaslama dalgası hızı denklemine göre belirlenmiştir.

$$V_{S1} = V_S (P_a / \sigma'_v)^{0,25} \quad (2)$$

Burada P_a referans atmosferik gerilme (100 kPa), V_S makaslama dalgası hızı, V_{S1} normalize makaslama dalgası hızı ve σ'_v düşey efektif gerilmedir. II. Seri analizlerde SC zemin sınıfındaki zeminler için Seed ve Idriss (1970) [26], tarafından önerilen ortalama makaslama modülü oranı ve sönmü oranı eğrileri, CL sınıfındaki zeminler için ise Vucetic ve Dobry (1991) [22] tarafından önerilenler kullanılmıştır. Ancak, makaslama dalgası hızının 30 m'den anakayaya (120 m) kadar değişimi yine efektif gerilmeye bağlı olarak Eşitlik 2'den hesaplanmıştır. III. Seri analizlerde ise yine Seed ve Idriss (1970), Vucetic ve Dobry (1991) makaslama modülü oranı eğrileri kullanılmıştır. Ancak makaslama dalgası hızının 30 m'den anakayaya (120 m) kadar değişimi MASW verilerine göre belirlenerek modellenmiştir. Şekil 12'de zemin hakim periyodunun ve büyütme oranlarının bir sondaj noktası için değişimi görülmektedir. Analiz 3 ile karşılaştırıldığında Analiz 1 ve 2'de genellikle daha düşük periyot değerleri ve daha yüksek büyütme oranları görülmektedir. Bütün analizlerde spektral



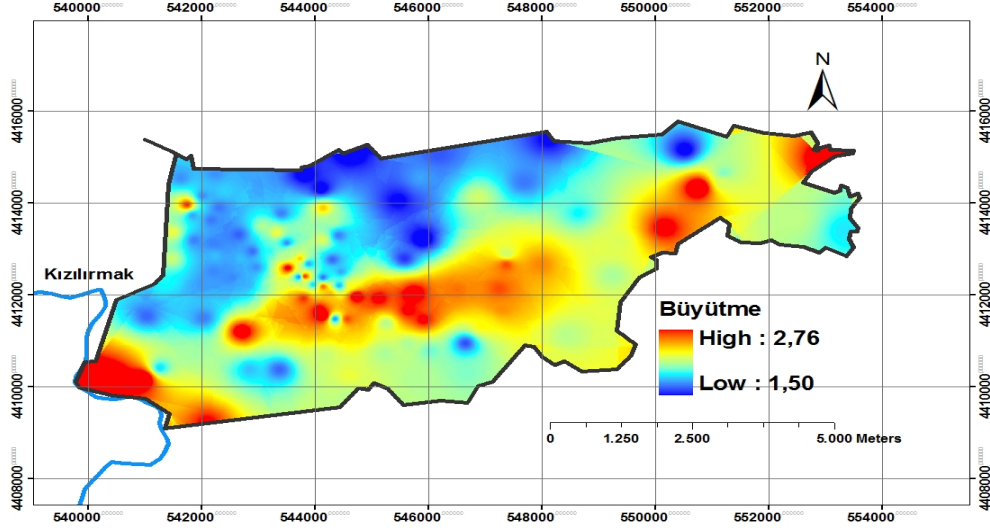
Şekil 12. Üç seri analiz için frekans ve büyütme oranlarının karşılaştırılması
(Comparison of the frequency and amplification ratio of three series of analyses)



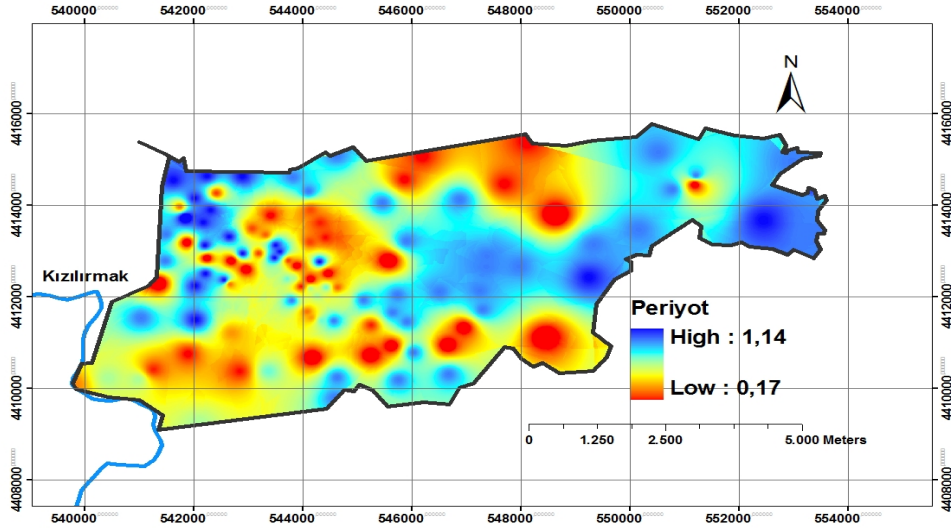
Şekil 13. Tüm analizlerin %5 sönüm oranına göre tepki spektrumunun, Türk deprem yönetmeliği (DBYHBHY, 2007) [27] ve Eurocode 8 [28] tepki spektrumu ile karşılaştırılması (Comparison of all of the response spectra based on 5% damping ratio with the response spectra of the Turkish Earthquake Code [27] and Eurocode 8 [28])

İvmeler hesaplanarak, 1. derece deprem bölgelerinde, yerel zemin sınıfı Z2 olan zeminler için Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde [27], tanımlanmış %5 sönüm oranına sahip tasarım tepki spektrumu ve Eurocode 8 [28], tasarım tepki spektrumu ile değişimi Şekil 13'te gösterilmiştir. Tüm analizlerde tepki spektrumu Türk Deprem Yönetmeliği ve Eurocode 8 tasarım spektrumunun üzerine çıkmaktadır. Bu durum, inceleme konusu sahada yönetmelikteki spektrumlarda zemin etkisinin yeterince dikkate alınmadığını göstermektedir. Yukarıda sonuçları verilen analizler çerçevesinde Kırıkkale yerleşim alanının zemin büyütme haritası Şekil 14'te, zemin hakim periyot haritası ise Şekil 15'de sunulmuştur. Şehrin kuzey ve kuzeybatı kesimlerinde düşük büyütme oranları görülürken, yer yer bazı

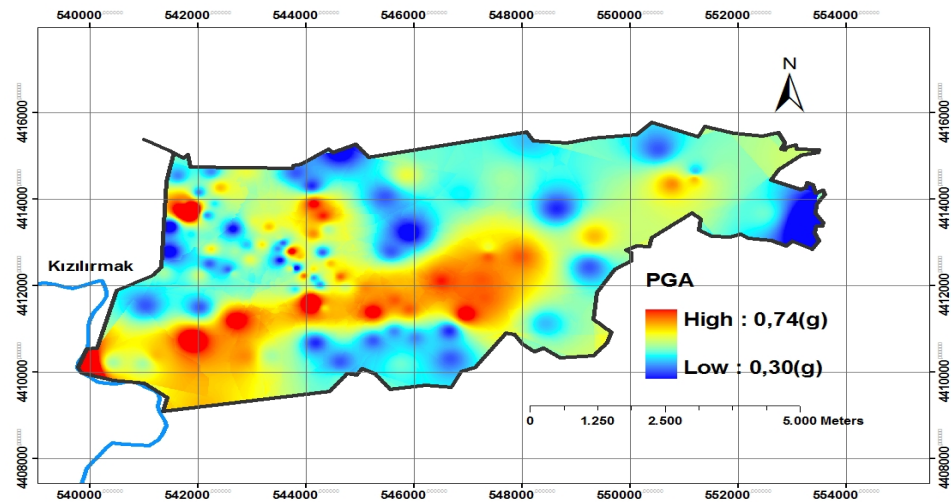
lokasyonlarda ve özellikle Kızılırmak Nehri'nin kıyılarında, orta, doğu ve güneydoğu bölgelerinde nispeten daha yüksek büyütme oranları ortaya çıkmaktadır. Şekil 16'da en büyük yer ivmesi dağılımı görülmektedir. Kırıkkale'de tepki analizlerinden elde edilen en büyük yer ivmesi 0,30 g ile 0,74 g arasında değişmektedir. Bu değerler çalışma alanında bazı bölgelerde, Türkiye deprem bölgeleri haritasında belirtilen en büyük ivme (0,4 g) değerinin, üzerine çıkmaktadır. Bu durum yerel zemin koşullarının etkisinin yönetmeliklerde yeterince dikkate alınmadığını açıkça ortaya koymaktadır. "Abrahamson vd. (2013)", "Boore vd. (2013)" ve "Campbell ve Bozorgnia (2013)"'nin önerdikleri ivme azalım ilişkilerinden belirlenen değerler, bu aralığın alt sınırlarında yer almaktadır.



Şekil 14. Kırıkkale için zemin büyütme oranının dağılımı (Distribution of the amplification ratio for Kırıkkale)



Şekil 15. Kırıkkale için zemin hakim periyodunun dağılımı (Distribution of the predominant site period for Kırıkkale)



Şekil 16. Kırıkkale için en büyük yer ivmesinin değişimi (Variation of peak ground acceleration for Kırıkkale)

Büyütme oranları ve zemin hakim periyodunun dağılımının verildiği çalışma alanında, yüksek ivme değerleri ve orta-yüksek periyot değerleri etkilidir. Yüksek ivme oranlarının görüldüğü çalışma alanının orta ve güneybatı bölümünde, zemin hakim periyodu 0,40-0,50 sn iken, doğu ve güneydoğusunda ise 1 sn civarındadır. Türkiye Deprem Yönetmeliğine göre (2007) bir binanın birincil doğal periyodu Eşitlik 3'ten hesaplanabilir:

$$T_1 = C_t H_N^{3/4} \quad (3)$$

Burada, H_N binanın toplam yüksekliği ve C_t birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, $H_N \leq 25$ m olan binalarda 0,07 olarak alınabilir. Çalışma alanında 3-6 kat arası betonarme binalar yaygın olarak görülmektedir. Bina kat yüksekliği yaklaşık 3 m kabul edilerek hesaplamalar yapıldığında, bina periyotlarının 0,35 ila 0,60 s. arasında değiştiği belirlenmektedir. Bu da yüksek ivme oranlarının görüldüğü çalışma alanının orta ve güneybatı bölümünde 3-6 kat arası binalarda ve doğu ve güneydoğusundaki 8-10 katlı binalarda deprem esnasında ciddi sismik yükleme etkilerinin ortaya çıkabileceğini ve buna bağlı olarak da önemli hasarların meydana gelebileceğini göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada Türkiye I. derece deprem bölgeleri içerisinde yer alan Kırıkkale İli belediye sınırları içinde kalan 107 lokasyonda SPT, 15 noktada sismik kırılma ve 6 noktada MASW verileri esas alınarak yer tepki analizleri gerçekleştirilmiştir. Çeşitli makaslama modülü oranı ve sönüm oranı eğrileri kullanılarak yapılan analizler sonucunda, çevre basıncı ve plastisite indisini dikkate alan Darendeli zemin modeli, ortalama makaslama modülü oranı ve sönüm oranı eğrilerini kullanan Seed ve Idriss (1970) ve Vucetic ve Dobry (1991) zemin modellerinden daha yüksek büyütme oranları ve daha düşük zemin hakim periyodu değerleri vermiştir. Zemin tepki analizlerinden hesaplanan en büyük yer ivmesi değerleri 0,30 g ile 0,74 g arasında değişmektedir. Büyütme oranları ve zemin hakim periyodunun dağılımının da verildiği çalışma alanında yüksek ivme değerleri ve orta-yüksek periyot değerleri etkilidir. Yüksek ivme oranlarının görüldüğü çalışma alanının orta ve güneybatı bölümünde, zemin hakim periyodu 0,40-0,50 sn iken alanın doğu ve güneydoğusunda ise 1 sn civarındadır. Bu da yüksek ivmelerin görüldüğü çalışma alanının orta ve güneybatı bölümünde 3-6 katlı, doğu ve güneydoğusunda ise 8-10 katlı binalarda deprem esnasında önemli sismik etkilerin oluşabileceğini ve buna bağlı hasarların meydana gelebileceğini göstermektedir. Bu çalışma ile elde edilen haritaların özellikle imar planına esas jeoteknik etüd ve zemin etüdü gibi çalışmalarda zemin etkisini dikkate alması sebebiyle kullanılması önerilir.

TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından (Proje No: 2014/54) desteklenmektedir. Yazarlar Kırıkkale Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimine teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kramer, S.L., **Geotechnical Earthquake Engineering**, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1996.
2. Tezcan, S.S., Kaya, E., Bal I.E., Özdemir, Z., "Seismic amplification at Avcılar, İstanbul", **Eng Struct** Cilt 24, No 5, 661-667, 2002.
3. Kılıç, H., Özener, P.T., Ansal, A., Yıldırım, M., Özaydın, K., Adatepe, S., "Microzonation of Zeytinburnu region with respect to soil amplification: a case study", **Engineering Geology**, Cilt 86, No 4, 238-255, 2006.
4. Fırat, S., Işık N.S., Arman, H., Demir, M., Vural, İ., "Investigation of the soil amplification factor in the Adapazari region", **Bull. Eng. Geol. Environ.**, DOI: 10.1007/s10064-015-0731-z, 2015.
5. Ketin, İ., "Yozgat bölgesinin jeolojisi ve Orta Anadolu Masifi'nin tektonik durumu", **Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni**, Cilt 6, No 1, 1-40, Ankara. 1955.
6. Erkan, Y., **Orta Anadolu masifinin Kırşehir bölgesinde etkili rejyonel metamorfizmanın petrolojik incelenmesi**, Doçentlik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 1975.
7. Seymen, İ., **Kaman dolayında Kırşehir masifinin jeolojisi**, Doçentlik Tezi, İstanbul Tek. Üniv. Maden Fak., 1982.
8. Ayan, M., "Contribution e Tetude petrographique et geologique de la region situee an NordEst de Kaman", **MTA yayını**, Cilt 115, 1963.
9. Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağar, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H., ve Hakyemez, Y., "Ankara Elmadağ-Kalecik dolayının temel jeoloji özellikleri" **Jeoloji Mühendisliği Dergisi**, No 20, 31-46. 1984.
10. Birgili, Ş., Yoldaş, R., Ünalın, G., "Çankırı-Çorum Havzasının Jeolojisi ve Petrol Olanakları". **MTA Rapor**, No 5621, 1975
11. Kırşehir İ30-31 paftası jeoloji haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 2008.
12. Rojay, B., Koçyiğit, A., "Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin Orta Kesimi İçinde Aktif Bir Birleşik Çek-Ayır Havza: Merzifon-Suluova Havzası, Türkiye" **62. Türkiye Jeoloji Kurultayı**, Ankara, 822-823, 2009.
13. Koçyiğit, A., "Orta Anadolu'nun Genel Neotektonik Özellikleri ve Depremselliği, Haymana-Tuzgözü-Ulukışla Basenleri

- Uygulamalı Çalışma”, **Türkiye Petrol Jeologları Özel Sayı 5**, 1-26, 2000.
14. Koçyiğit, A., 2008. “Ankara’nın depremselliği ve 2005-2007 Afşar (Bala-Ankara) Depremlerinin kaynağı”, **MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni**, No 6, 1-7, 2008.
 15. Türkiye Diri Fay Haritası Kırşehir (NJ 36-3) paftası, seri no 25, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 2015.
 16. Parejas, E., Pamir, H. N., “19 Nisan 1938 Orta Anadolu yer depremi” **İst. Üniv, Fen. Fak. Yayınları**, seri B., cilt 4, No 3/4, 1939.
 17. Reiter, L., “Earthquake Hazard Analysis: issues and insights”, **Columbia University Press**, New York, 1990.
 18. PEER Report 2013/04-05-06 Pacific Earthquake Engineering Research Center Headquarters, University of California, Berkeley May 2013.
 19. Deniz, A. ve Yüçemen, M. S., “Magnitude conversion problem for the Turkish earthquake data”, **Natural Hazards** Cilt 55, No 2 333-352. 2010.
 20. Deniz, A., **Estimation of Earthquake Insurance Premium Rates for Turkey**, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
 21. Gutenberg, B., and Richter C.F., “Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration (second paper)”, **Bulletin. Seismological Society. America.**, Cilt 46, No 2, 105-145, 1956.
 22. Vucetic, M., Dobry, R., “Degradation of marine clays under cyclic loading”, **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, Cilt 114, No 2, 133-149. 1989.
 23. Darendeli, M.B., **Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves**, Doktora Tezi, University of Texas at Austin, 2001.
 24. Ordonez, G.A., SHAKE2000-A Computer Program for the 1-D Analysis of Geotechnical Earthquake Engineering Problems, 2012.
 25. Robertson, P. K., Woeller, D. J., Finn “WDL “Seismic cone penetration test for evaluating liquefaction potential”, **Canadian Geotechnical Journal**, Cilt 29, 686-695, 1992.
 26. Seed, H.B., Idriss, I.M., “Soil moduli and damping factors for dynamic response analysis”, **Report No. EERC 70-10**, University of California, Berkeley, USA, 1970.
 27. “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” Ankara, 2007.
 28. CEN (European Committee for standardization) Eurocode 8:design of structures for earthquake resistance, Part I: General rules, seismic actions and rules for buildings. EN 1998-1: 2004, Brussels, Belgium.