

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi
Dokuz Eylul University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering

Basılı/Printed ISSN: 1302-9304. Elektronik/Online ISSN: 2547-958X

Erzurum ve Çevresi Yerel Zemin Etkilerinin SSR ve HVSR Yöntemleri Kullanılarak Araştırılması

Investigation of the Local Soil Effects of Erzurum and Its Surroundings Using SSR and HVSR Methods

Çağlar Özer[1,2,*]

[1] Atatürk Üniversitesi, Deprem Araştırma Merkezi, ERZURUM
[2] Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Böl., ERZURUM
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: caglarozer@atauni.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 15.09.2018
Kabul Tarihi / Accepted: 21.11.2018
DOI:10.21205/deufmd.2019216124
Araştırma Makalesi/Research Article

Atıf şekli/ How to cite: ÖZER, Ç. (2019). Erzurum ve Çevresi Yerel Zemin Etkilerinin SSR ve HVSR Yöntemleri Kullanılarak Araştırılması. DEUFMD, 21(61), 247-257.

Öz

Erzurum ili ve çevresinde, farklı zemin türleri üzerinde yer alan 10 adet ivme-ölçerler ile kaydedilen 17 adet deprem ile Standart spektral oran (SSR) ve Yatay/Düşey Spektral oran (HVSR) yöntemleri kullanılarak çalışma alanının deprem-zemin ortak davranış özellikleri araştırılmıştır. Zeminlerin jeolojik ve jeoteknik özelliklerine göre elde edilen farklı büyütme değerleri belli frekans aralıkları için incelenmiştir. Şehir merkezi ve yakın çevresini kapsayan alanda Kuvaterner alüvyonda konumlanmış Merkez, Merkez_SS, Ilıca ve Pasinler istasyonlarında düşük frekanslarda yüksek büyütmeler tespit edilmiştir. Bu birimlerde zemin hakim frekansı 0.5 Hz ile 1.0 Hz (1-2 sn) arasında değiştiğinden olası bir deprem durumunda 10 ile 20 kat arasındaki yapılarda rezonans durumu ortaya çıkabilir. Alüvyon birimler üzerine kurulmuş şehir merkezi ve çevresinde, SSR büyütme değerlerinin özellikle düşük frekanslarda yüksek olduğu gözlenmiştir. En düşük SSR büyütme değerleri ise volkanitler üzerinde konumlanan Şenkaya ve Narman istasyonlarında hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Zemin büyütmesi, HVSR, SSR, Erzurum*

Abstract

Earthquake-soil behaviour characteristics of the study area were investigated with 17 earthquakes recorded by 10 accelerometers located in different soil types using Standard Spectral Ratio (SSR) and Horizontal/Vertical Spectral Ratio (HVSR) methods. Different amplification values according to geological and geotechnical features of the soil sites were investigated for specific frequency ranges. High amplifications were detected at low frequencies in the Merkez, Merkez_SS, Ilıca and Pasinler stations located in the Quaternary alluvium covering the city center and its near surroundings. Since the soil dominant frequency ranges between 0.5 Hz and 1.0 Hz (1-2 sec) in these units, in case of a possible earthquake, resonance may occur in structures between 10 and 20 story buildings. It is observed that the SSR amplification values are high especially at low frequencies in the city center located in alluvial units. The lowest SSR amplification values were calculated at Şenkaya and Narman stations located in volcanics.

Keywords: *Soil amplification, HVSR, SSR, Erzurum*

1. Giriş

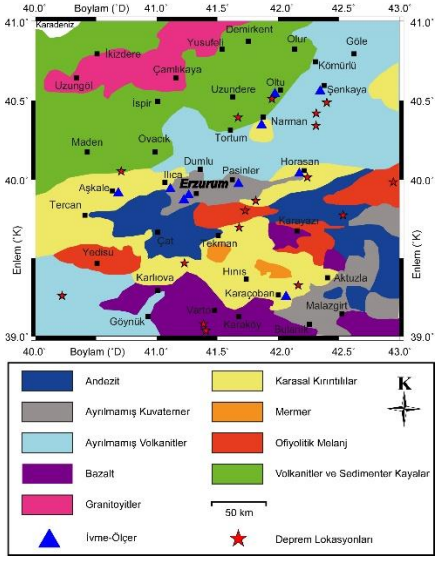
Erzurum, TUİK 2017 [1] verilerine göre 1 milyona yakın nüfusu ile Doğu Anadolu bölgesinde yer alan ve aktif fay zonları ile çevrelenmiş sismik riski yüksek bir ilimizdir. Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından hazırlanan ve 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanan yeni Türkiye Deprem Bölgeleri haritasına [2] göre Erzurum ilinin büyük bir kısmı 1. Derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Aletsel ve tarihsel dönemde Erzurum ve çevresinde birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Tarihsel dönemde öne çıkan ve İran'a kadar hissedildiği rapor edilen depremler sırasıyla 21 Ocak ve 1-2 Haziran 1859 Erzurum depremleridir [3]. Aletsel dönemde; 1901 Erzurum (Ms=6.1), 1924 Horasan (Ms=6.8), 1983 Hınıs (Ms=7.1), 1983 Narman (Ms=6.7), 1984 Balkaya (Mb=6.4), 1999 Şenkaya (Ml5.1), 2004 Aşkale (M=5.3) depremleri meydana gelmiş, bu depremler hafif ve ağır ölçekte birçok yapısal hasar meydana getirerek binlerce insanın yaralanmasına ve hayatını kaybetmesine sebep olmuşlardır [4, 5]. Bu nedenle gelecekte meydana gelebilecek büyük depremler sonucu oluşabilecek can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi için Erzurum ve çevresinin deprem-zemin ortak davranış özelliklerinin iyi anlaşılması gerekmektedir.

Deprem-zemin ortak davranış özelliklerinin dinamik koşullar dikkate alınarak araştırılabilmesi için en güvenilir yaklaşım doğrudan deprem verilerinin kullanılmasıdır [6]. Bu çalışmada yerel zemin etkilerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan Klasik Spektral Oran (SSR) [6, 7] ve Yatay/Düşey Spektral Oran (HVSR) [6, 8, 9-12] yöntemleri kullanılmıştır. Bu motivasyon ile; Erzurum ve çevresinde konumlanmış AFAD (9 adet) ve Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi (ATA-DAM) (1 adet) tarafından işletilen toplam 10 adet ivme-ölçer tarafından 2013-2017 yılları arasında en az 3 istasyon tarafında kayıt edilen ve en az 3.5 büyüklüğündeki 17 deprem kullanılmıştır (Tablo 1). Bu çalışmada kullanılan ivme-ölçer kayıtçıları dört farklı ana jeolojik birim üzerine konumlanmıştır (Şekil 1). Bu birimler; a) Kuvaterner yaşlı alüvyon (Merkez, Merkez_SS, Ilıca ve Pasinler), b) Karasal Kırıntılılar (Aşkale, Narman, Horasan, Karaçoban), c) Volkanitler ve Sedimenter Kayalar (Oltu), d) Ayrılmamış Volkanitler (Şenkaya). Farklı jeolojik birimler üzerindeki ivme kayıtlarının incelenmesi, deprem kaynağından aynı uzaklıkta olmasına rağmen deprem hareketine gösterilen farklı tepkilerin incelenmesi açısından önemlidir.

Erzurum ve çevresinde daha önceden deprem verileri kullanılarak deprem-zemin ortak davranışları araştırılmamıştır. Bu motivasyon ile bu çalışma bölgesel karakteristi anlamak için ilksel bir niteliktedir.

2. Jeoloji ve Tektonik

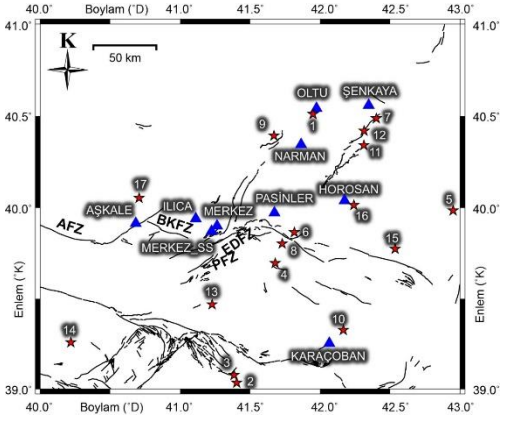
Doğu Anadolu Bölgesi; kıtasal çarpışmanın ve volkanik kökenli etkileri eksiksiz şekilde sergileyen dünyadaki nadir örneklerden biridir. Bu bölgenin içindeki Erzurum Kars platosu Orta Miyosenden Pliyosene kadar olan dönemdeki kıtasal çarpışmayla ilgili volkanizma izlerini taşımaktadır [13]. Erzurum yerleşim alanı kalınlığı 800-1200 metre arasında değişen Kuvaterner yaşlı alüvyonlar üzerine kurulmuştur [14]. Şehrin Batısında Karasal kırıntılılar, Güney Batısında Andezitler, Güneyde Palandöken dağının kapladığı alanda Ofiyolitik Melanj, Kuzey ve Kuzey Batıda Volkanitler ile çevrilidir (Şekil 1).



Şekil 1. Erzurum' un basitleştirilmiş jeolojik haritası [15]. Bu çalışmada kullanılan depremler

ve istasyonlar sırasıyla kırmızı yıldız ve mavi üçgenler ile simgelenmektedir.

Erzurum ve çevresi birçok aktif tektonik kırık sistemi ile çevrili ve yüksek sismik aktiviteye sahiptir. İstatistik bilgilere göre; Erzurum'da her 30 yılda bir magnitüdü 6 ile 7 arasında değişen bir deprem olmaktadır [16]. Türkiye'nin doğusunda bulunan ~30 km genişliğinde ve ~90 km uzunluktaki Erzurum çek-ayır havzası, Kuvaterner dönemden bu yana sıkışma tektoniği altında bulunmaktadır. Bu havza; Doğu-Güneydoğu kısmında Erzurum-Dumlu sol yönlü doğrultu atımlı fayı (EDFZ) (~20 km genişlik ve ~150 km uzunluk), Güneyde sol yanal atımlı ters faylardan oluşan Palandöken Fay zonu (PFZ), Kuzey-Kuzeybatıda Aşkale sol yönlü doğrultu atımlı fayı (AFZ) (~6 km genişlik ve ~140 km uzunluk) ve Başköy-Kandilli fayları ile yönetilmektedir (BKFZ) [17] (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışmada kullanılan depremler (kırmızı yıldız) ve istasyonlar (mavi üçgen). Haritada kullanılan numaralar Tablo 1' deki deprem numaralarını temsil etmektedir. Kısaltmalar: AFZ: Aşkale Fay Zonu, BKFZ: Başköy-Kandilli Fay Zonu, EDFZ: Erzurum-Dumlu Fay Zonu, PFZ: Palandöken Fay Zonu.

3. Veri ve Yöntem

İvme-ölçer istasyon lokasyonlarının zemin yapısını anlamak amacıyla; dört faklı jeolojik birim üzerine konumlanmış 10 istasyon tarafından kayıt edilen RMS değeri 0.15'den küçük 17 adet deprem verisi kullanılmıştır (Şekil 2). 2013-2017 yılları arasında kayıt edilen depremlerin büyüklükleri 3.7 ile 5.3 arasında değişmektedir. Çalışma alanının genişliği ve kullanılan depremlerin magnitudleri göz önüne alınarak, en az üç istasyon tarafından kayıt edilen ve magnitüdleri 3.7'den büyük depremler çalışmaya dahil edilmiştir (Tablo 1). Kullanılan istasyonlar Güralp CMG-5TD (100 Hz) ivme-ölçerlerden oluşmaktadırlar. AFAD ve ATA-DAM tarafından işletilen istasyonlardan alınan veriler 0.01 saniye (sn) aralıklar ile sayısallaştırılmıştır. Yerel zemin etkilerini gözlemleyebilmek için S-dalga fazlarını 2 sn öncesi ve 8 sn sonrası alınarak toplamda 10.24 sn' lik pencereler kullanılmıştır. Gibbs ve trend etkisini engellemek için % 10 işleçli kosinüs filtresi ile verilerin uçları törpülenenmiş ve yuvarlatma faktörü 40 alınmıştır [18, 19]. Sonrasında Geopsy programı yardımıyla [20] hızlı Fourier dönüşümü ile zaman ortamından frekans ortamına geçilerek hesaplamalar yapılmıştır. Popüler zemin sınıflamalarında (NEHRP [21], TDY [22], JRA [23]) 10 Hz' den yukarısını A- sınıfı Kaya/kompakt zemin olarak tanımlandığından çizimler 10 Hz' e kadar yapılmıştır.

Deprem kayıtları, deprem-zemin ortak davranış özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan en güvenilir veri türüdür [6, 19, 24, 25]. Deprem verileri kullanılarak zemin koşullarının değerlendirilmesi için SSR ve HVSR yöntemleri kullanılmıştır [26, 27]. SSR yöntemi [7] yerel zeminin büyütme etkisinin anlaşılması için yaygın olarak kullanılmaktadırlar [6, 24]. Bu yöntemin temeli referans istasyon olarak sağlam bir kaya seçilmesi ve tüm genliklerin referans istasyondaki değerlere bölünerek yerel zemin koşullarından etkilenmediği varsayılarak, ana kayaya ait sismik kayda ulaşıldığı fikridir. Deprem enerjisinin en yüksek olduğu S- dalga fazları pencereleme aşamasında seçilir ve Fourier genlik spektrumu alınır. Spektrumları birbirine oranlarken aynı ivme-ölçer ve depremin kullanılması ile alet ve kaynak etkisi giderilmiş olur. Ayrıca iki istasyon arasındaki mesafe deprem lokasyonuna olan uzaklığından az ise yol bağımlı ortam etkisi de giderilmiş olur (Tablo 2) [19, 28]. Yön farkının giderilmesi için K-G ve D-B bileşenlerin ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu çalışmada Narman istasyonu ana kaya olarak nitelendirilebilecek lokasyonda konumlandığı, HVSR eğrilerinin tüm frekans değerlerinde genliklerin 1 değeri civarında olması ve yüksek deprem kaydetme oranı sebebiyle referans istasyon olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan ve referans istasyon kullanılmadan basitçe uygulanabilen diğer yöntem HVSR tekniğidir [8, 29]. Bu yöntem temel olarak düşey bileşenin yatay bileşenlerin aksine yerel zemin koşullarından etkilenmediği

ve yatay bileşen genlik spektrumlarının düşey bileşen genlik spektrumlarına oranının yerel zemin koşullarının etkisini verdiği varsayılır [24]. Bu yöntemde de SSR yönteminde izlenen standart veri işlem aşamaları takip edilmiştir. Deprem-zemin ortak davranış özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan birçok çalışma HVSR yönteminin zemin hakim frekansı belirlemede başarılı ve kullanışlı iken, SSR yönteminin büyütme değerlerinin hesaplanmasında daha başarılı olduğunu ileri sürmüştür [30-31].

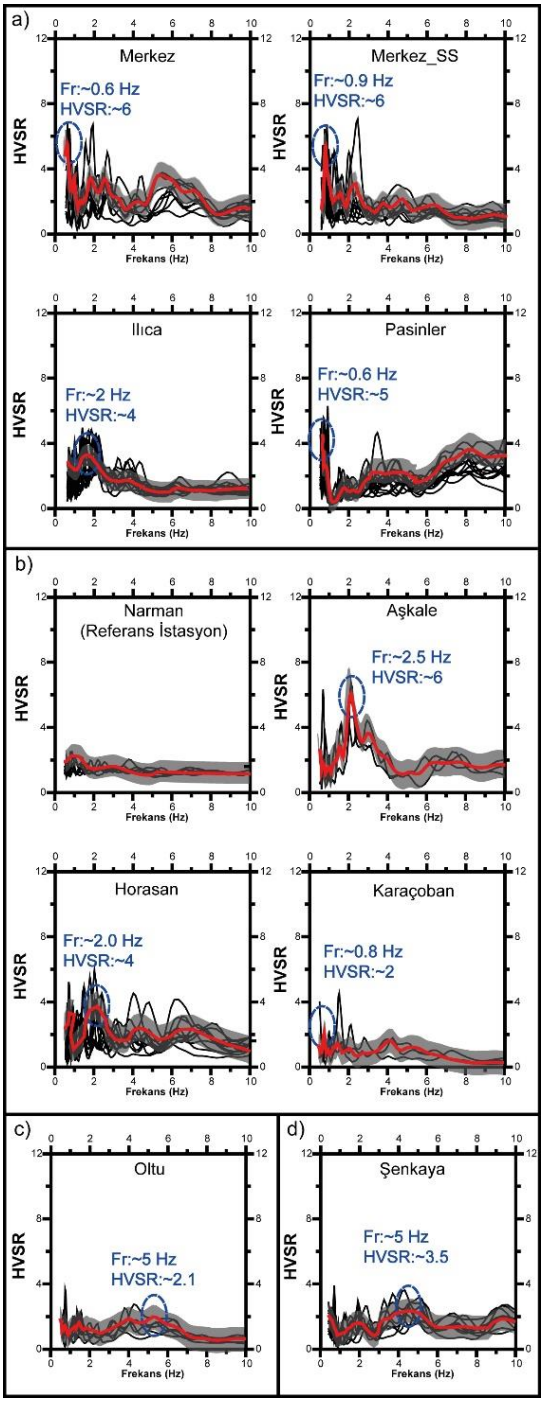
Zemin hakim frekansının belirlenmesi, deprem anında yapıya yıkıcı etki yaratabilecek rezonans etkisinin belirlenmesi açısından önemlidir. Rezonans en basit hali ile yapı ile zeminin doğal periyodunun örtüşmesidir. Yapı tasarlanırken, zemin ile yapı arasında meydana gelebilecek rezonans etkisi dikkate alınmalıdır [32]. Yapı ve zemin periyodunun yakın/aynı olduğu durumlarda titreşim genliği en yüksek değere ulaşarak yapıyı yıkıma zorlar. Rezonans hesabı için farklı değişkenlere bağlı birçok ampirik bağıntı bulunmaktadır [12]. En basit hali ile kat adetine (N) bağlı olarak periyot hesabı için (1) numaralı bağıntı kullanılabilinir [33].

$$T = 0.1 \times \mathrm{N} \tag{1}$$

4. Bulgular

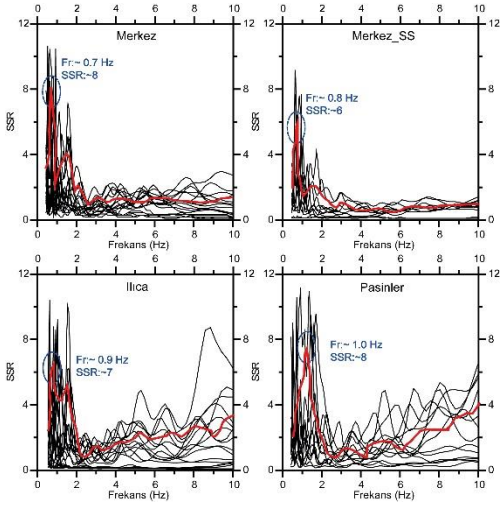
Çalışma alanında farklı zemin gurupları üzerinde konumlanmış 10 ivme-ölçer için elde edilen HVSR grafikleri Şekil 3'te sunulmaktadır. HVSR ve SSR yöntemlerinde temel olgu, gevşek zeminler üzerinde kurulan istasyonlardaki dalganın genliği ve periyodu sert zeminlere göre çok daha büyük olması temeline dayanmaktadır [19, 34]. Tüm depremler için elde edilen HVSR büyütmeleri istasyon bazında tek bir grafikte gösterilmiş, geometrik ortalamaları alınarak her istasyon için temsili tek bir HVSR eğrisi elde edilmiştir. Çalışma alanında gevşek/zayıf zemin olarak bilinen alüvyonlar üzerinde kurulu dört istasyon bulunmaktadır (Merkez, Merkez_SS, Ilıca ve Pasinler). Şehir merkezinin etrafında yayılan bu dört istasyonun üzerinde bulunduğu alüvyonların kalınlığı 800-1200 metre arasında değişmekte ve bu kalınlık güneye doğru azalmaktadır [14]. Merkez ve Merkez_SS istasyonlarında ortalama HVSR genlikleri 6 civarında iken, şehir merkezinin batısında ve doğusunda konumlanmış Ilıca ve Pasinler istasyonlarındaki HVSR genlikleri ~4 civarıdır. Ilıca istasyonundaki büyütmelerin en yüksek olduğu periyot ~0.5 sn (2 Hz) iken, Merkez, Merkez_SS ve Pasinler istasyonlarında zemin hakim frekans aralığı ~1 ile 2 sn (0.5 ile 1 Hz) arasında değişmektedir. Alüvyon üzerinde kurulu diğer üç istasyonun aksine Ilıca istasyonundaki kısmen düşük büyütmeler, Ilıca istasyonunun alüvyon, Karasal kırıntılılar ve Andezit üçlüsünün kesiştiği birimde kurulu olması ve nispeten diğer istasyonlara nazaran daha sıkı birim üzerinde işletilmesi ile ilişkilidir (Şekil3a). Karasal kırıntılılar üzerinde işletilen dört istasyon bulunmaktadır. Bu istasyonlardan Narman istasyonu, elde edilen düşük ve 1'e yakın HVSR büyütmelerin gözlenmesi, deprem kaydetme oranını yüksekliği, çalışma alanı içinde temel kaya niteliği taşıyabilecek alan içinde konumlanan tek istasyon olması sebebiyle SSR yönteminde referans istasyon olarak belirlenmiştir. Aşkale, Horasan ve Karaçoban istasyonlarında HVSR büyütmelerinin sırasıyla ~6, ~4 ve ~2 olduğu tespit edilmiştir. Bu istasyonlardaki hakim frekans 2.5, 2 ve 0.8 Hz olarak hesaplanmıştır (Şekil 3b). Kırıklı çatlaklı sedimanter kayaçlar içinde gevşek/sıkı kaya sınırında konumlanan Oltu istasyonunda zemin hakim frekans ve HVSR büyütme değerleri sırasıyla 5 Hz ve 2.1'dir (Şekil3c). Volkanitler üzerinde konumlanan Şenkaya istasyonunda zemin hakim frekans ve HVSR büyütme değerleri sırasıyla 5 Hz ve 3.5 olarak elde edilmiştir (Şekil3d).

Tüm istasyonlar için hesaplanan SSR büyütme değerleri zemin özelliklerine göre sınıflanmıştır. SSR hesaplamalarında yön bağımlı etkileri gidermek için DB ve KG bileşen bazında hesaplanmıştır. Tüm depremler için elde edilen DB ve KG bileşenler istasyon bazında tek bir grafikte gösterilmiş, bu bileşenlerin geometrik ortalamaları alınarak her istasyon için temsili tek bir SSR büyütme eğrisi elde edilmiştir. Kuvaterner yaşlı alüvyon üzerinde kurulan istasyonların SSR yöntemi ile elde edilen büyütme fonksiyonları incelendiğinde zemin hakim frekanslarının 0.5 Hz ile 2.0 Hz arasında



Şekil 3. HVSR yöntemi ile elde edilen büyütme fonksiyonları. Her bir eğri (siyah) farklı depremi temsil etmektedir. a) Kuvaterner yaşlı alüvyon (Merkez, Merkez_SS, Ilıca ve Pasinler), b) Karasal Kırıntılılar (Aşkale, Narman, Horasan, Karaçoban), c) Volkanitler ve Sedimenter Kayalar (Oltu), d) Ayrılmamış Volkanitler (Şenkaya). Kırmızı kalın çizgi geometrik ortalamayı göstermektedir.

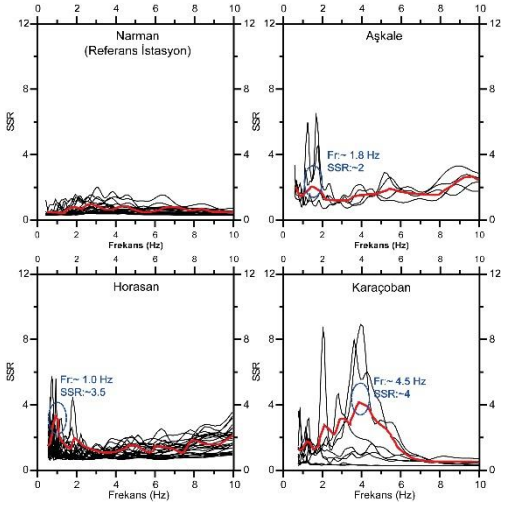
değiştiği, ortalama SSR büyütmelerinin ~6 ile ~8 arasında olduğu tespit edilmiştir. NEHRP zemin sınıflamasında [21] bu aralıktaki düşük frekans değerlerinin, oldukça dayanıksız bataklık birimlere karşılık gelmektedir (Şekil 4). Volkanitler içinde kalan alanda karasal kırıntılılar üzerine konumlanmış Narman istasyonu referans istasyon olarak kabul edilmiştir. Aşkale istasyonunda SSR büyütme değeri tekdüze şekilde konumlanmış ve ~2 olarak elde edilmiştir. Horasan istasyonunda 1 Hz'de SSR büyütmeleri ~3.5 olarak elde edilmiştir.



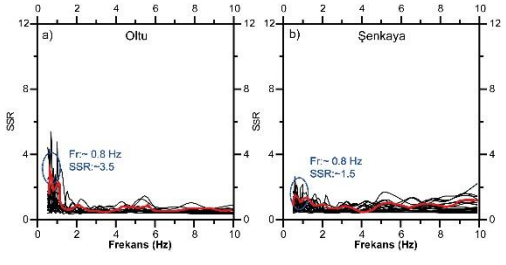
Şekil 4. Kuvaterner yaşlı alüvyon üzerinde kurulan istasyonların SSR yöntemi ile elde edilen büyütme fonksiyonları. Her bir eğri (siyah) farklı depremlere ait DB ve KG bileşenleri temsil etmektedir. Kırmızı kalın çizgi geometrik ortalamayı göstermektedir.

Ayrıca yüksek frekanslara doğru SSR büyütme değerlerinde kademeli olarak hafif bir artış göze çarpmaktadır. Karaçoban istasyonda ise; düşük deprem kaydetme oranı ve çalışma alanının en güney sınırında olması sebebiyle SSR eğrileri arasındaki uyumun düşük olduğu gözlenmektedir (Şekil 5).

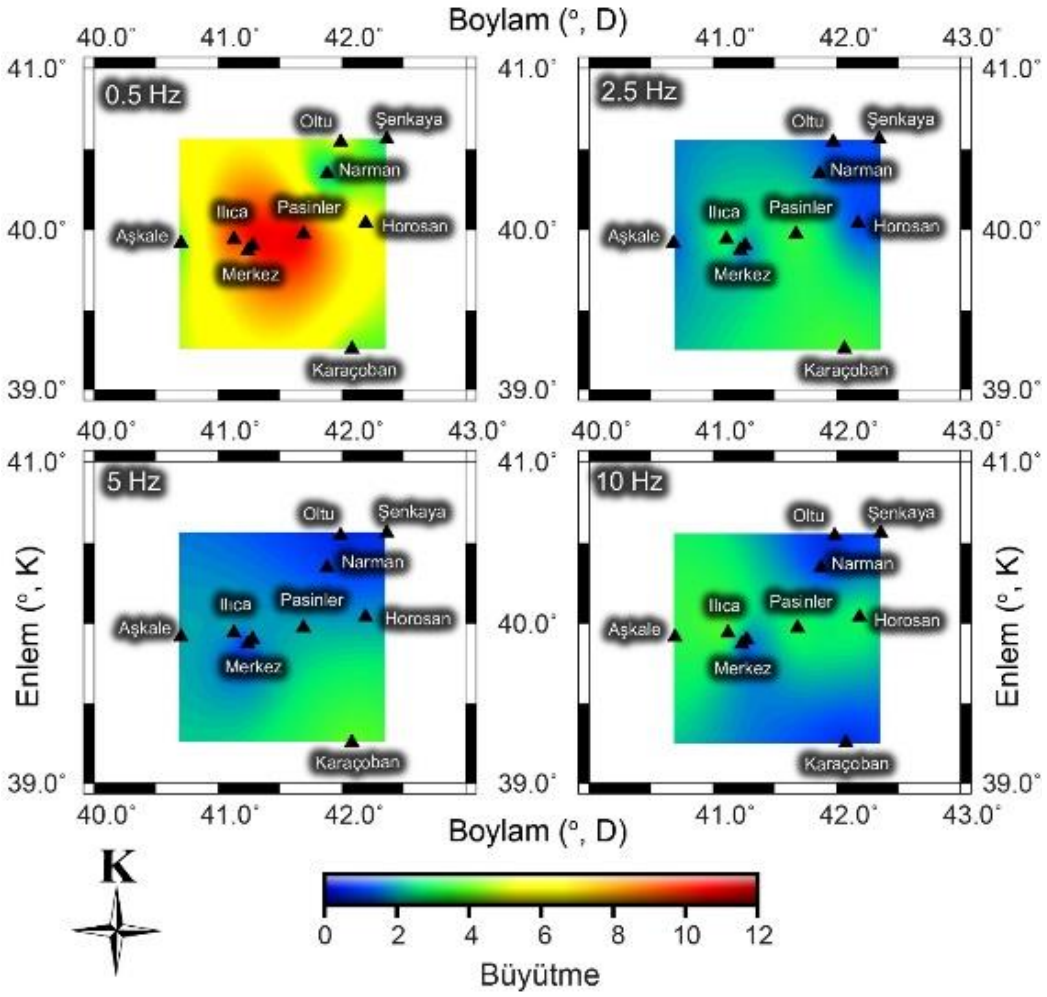
Sedimanter kayaçlar üzerinde çalışma alanının Kuzeyinde konumlanmış Oltu istasyonunda beklenenin aksine düşük frekanslarda (0.5-1.1 Hz) ~3.5 civarında SSR büyütmeleri tespit edilmiştir. Bu durum Oltu istasyonunun kırıklı çatlaklı zemin/kaya geçişinde kurulmuş olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yüksek frekanslarda (2-10 Hz arasında) SSR büyütme eğrilerinin ~1 civarında olduğu gözlenmiştir. Çalışma alanının Kuzey batısında volkanitler üzerine kurulmuş Şenkaya istasyonunda da nispeten benzer bir görüntü elde edilmiştir. Yüksek frekanslara doğru SSR büyütmelerinde nispeten ufak bir artış eğilimi gözlenmektedir (Şekil 6).



Şekil 5. Karasal Kırıntılılar üzerinde kurulan istasyonların SSR yöntemi ile elde edilen büyütme fonksiyonları. Her bir eğri (siyah) farklı depremlere ait DB ve KG bileşenleri temsil etmektedir. Narman istasyonu referans istasyon olarak belirlendiğinden oranlama yapılmadan ham hali sunulmuştur. Kırmızı kalın çizgi geometrik ortalamayı göstermektedir.



Şekil 6. Volkanitler-Sedimenter Kayalar (a) ve Ayrılmamış Volkanitler (b) üzerinde kurulan istasyonların SSR yöntemi ile elde edilen büyütme fonksiyonları. Her bir eğri (siyah) farklı depremlere ait DB ve KG bileşenleri temsil etmektedir. Kırmızı kalın çizgi geometrik ortalamayı göstermektedir.



Şekil 7. SSR yöntemine göre istasyonlardaki büyütme değerlerinin frekanslara göre değişimi

0.5 Hz' de Pasinler, Ilıca ve Şehir merkezinde SSR büyütme değerlerinin 8 ile 10 arasında değişirken Oltu, Şenkaya ve Narman'da düşük büyütmeler gözlemiştir. 2.5 Hz' de büyütme değerlerinin KD' dan GB yönüne arttığı belirgin şekilde gözlenmektedir. Çalışma alanının kuzeyinde kompakt/sıkı birimler üzerinde yer alan Oltu ve Şenkaya istasyonlarında düşük SSR büyütmeleri dikkat çekmektedir. Benzer durum 5 Hz kesitlerinde de tespit edilmiştir. 10 Hz' de; D-B yönlü ~4 olarak hesaplanan SSR büyütmelerinin, o bölgede konumlanan Ofiyolotik Melanj ve Andezitler ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre, HVSR ve SSR yöntemlerinin birbirlerine göre bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar; SSR yönteminin büyütme genliklerinin hesaplanmasında daha başarılı iken, HVSR yönteminin ise zemin hakim frekanslarının hesaplanmasında daha uygun sonuçlar ürettiği düşünülmektedir. HVSR yönteminin büyütme hesaplamalarında başarısız kalmasının sebebi, düşey bileşenlerin genel kabulün aksine yerel zemin etkilerini içermesidir. Diğer yandan SSR yönteminin uygulanabilmesi için uygun referans istasyonunun seçimi, SSR yönteminin

uygulanabilirliğini güçleştirmektedir. Kabaca, her iki yöntemle tespit edilen zemin hakim frekanslar genel olarak uyumlu iken, SSR yöntemi ile elde edilen genlik büyütmeleri HVSR yöntemi elde edilen büyütmelerin yaklaşık 2.5 katıdır.

Özetle; Erzurum ve çevresinin zemin büyütme davranışlarını ve hakim frekansının belirlenmesi amacıyla 10 adet ivme-ölçer istasyonu ile yürütülen bu çalışmada, alüvyon üzerine kurulmuş şehir merkezi ve çevresinde, SSR büyütme değerlerinin özellikle düşük frekanslarda yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 7). Yeni yerleşim yerlerinin planlanmasında zemin hakim frekans değerleri dikkate alınmalı ve depreme dayanıklı yapı tasarımında rezonans etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada 10 ivme-ölçer tarafından kayıt edilen 17 deprem verisinden hareketle Erzurum ve çevresinin deprem-zemin ortak davranış özellikleri, HVSR ve SSR yöntemleri ile ilk kez ortaya çıkartılmıştır. Genel olarak gevşek birimlerde, düşük frekanslarda yüksek büyütmeler gözlenirken, sıkı birimlerde tekdüze düşük büyütmeler gözlenmiştir. Deprem hasarlarının ve kayıplarının azaltılması açısından kuvaterner yaşlı alüvyonlar üzerine kurulu Merkez, Merkez_SS, Pasinler ve Ilıca istasyonları için düşük frekanslarda tespit edilen yüksek büyütme değerleri önemlidir. 1. Derece deprem bölgesi içinde yer alan şehir merkezinde yapılaşmaya açık alanlarda, yapıların dinamik yükler altında rezonans etki göstermemesi için zemin hakim titreşim periyotları dikkate alınmalıdır. Alüvyon birimlerde genel olarak zemin hakim frekansı 0.5 Hz ile 1.0 Hz (1-2 sn) arasında değiştiğinden 10 ile 20 kat arasında değişen yapıların deprem sırasında rezonans etkisinde kalma olasılığı yüksek olacaktır. Alüvyon birimler üzerine kurulmuş şehir merkezi ve çevresinde, SSR büyütme değerlerinin özellikle düşük frekanslarda yüksek olduğu gözlenmiş, yeni yerleşim yerlerinin planlanmasında zemin hakim frekansı dikkate alınarak ve yapıya rezonans etkisi gözetilerek tasarlanmalıdır.

Teşekkür

HVSR ve SSR hesaplamalarında GEOPSY algoritması kullanılmıştır. Şekillerin büyük bir kısmı GMT [35] programı kullanılarak hazırlanmıştır. Şekil 2' de kullanılan fay verileri MTA çizim editöründen [36] sayısallaştırılmıştır. Bu araştırmaya veri desteği sağlayan T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığına ve Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezine (ATA-DAM) teşekkür ederim.

Kaynakça

[1] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2017. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi 2017 yılı Sonuçları 27587 Sayılı Rapor, Ankara. http://www.tuik.gov.tr (Erişim Tarihi: 07.03.2018).

[2] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Ankara. http://www.afad.gov.tr (Erişim Tarihi: 16.06.2018).

[3] Aksu, B. 2014. Erzurum Şehir Merkezinde Kuzey Güney Doğrultulu Bir Hat Boyunca Yer Alan Yapı Stoğunun, Zemin ve Yapı Periyodu Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.74.

[4] Bikçe, M. 2015. Türkiye'de Hasara ve Can Kaybına Neden Olan Deprem Listesi (1900-2014). 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 14-16 Ekim, İzmir.

[5] Penirci, O., Demirtaş, R., Yağyemez, B., vd. 2011. Erzurum ili Büyük Şehir Belediyesi Yerleşim Alanının 1/5000 Ölçekli Nazım İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu, Zetem Mühendislik (Yayımlanmamış).

[6] Yalçınkaya, E., Alptekin, Ö. 2003. Dinar'da Zemin Büyütmesi ve 1 Ekim 1995 Depreminde Gözlenen Hasarla İlişkisi, Yerbilimleri, Cilt. 27, s. 1-13.

[7] Borcherdt, R.D., 1970. Effects of Local Geology on Ground Motion near San Francisco Bay, Bulletin of the Seismological Society of America, Cilt. 60 No. 1, s. 29-61.

[8] Nakamura, Y., 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface, Quarterly Report of Railway Technology Research Institute, Cilt. 30, s. 25-33.

[9] Pamuk, E., Özdağ, Ö. C., Tunçel, A., Özyalın, Ş., & Akgün, M. (2018). Local site effects evaluation for Aliağa/İzmir using HVSR (Nakamura technique) and MASW methods. Natural Hazards, 90(2), 887-899.

[10] Pamuk, E., Gönenç, T., Özdağ, Ö. C., & Akgün, M. (2018). 3D Bedrock Structure of Bornova Plain and Its surroundings (İzmir/Western Turkey). Pure and Applied Geophysics, 175(1), 325-340.

[11] Tunçel, A., Özdağ, Ö. C., Pamuk, E., & Akgün, M. (2018). Mikrotremor Verisi Kullanılarak Zeminlerin Dinamik Büyütme Faktörü Değerlerinin Hesaplanması: İzmir (Kuzey) Örneği. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2018(2018).

[12] Pamuk, E., Özdağ, Ö. C., & Akgün, M. (2018). Soil characterization of Bornova Plain (Izmir, Turkey) and its surroundings using a combined survey of MASW and ReMi methods and Nakamura's (HVSR) technique. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 1-13.

[13] Keskin, M., Pearce J.A, Mitchell, J.G. 1998. Volcano-Stratigraphy and Geochemistry of Collision-Related Volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, Northeastern Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Cilt. 85, No. 1-4, s.355-404.

[14] Yarbaşı, N., Kadirov, A., Bayrakturan, M.S. 2004. Erzurum Şehir Merkezi Batı Kesimi Jeoteknik

Haritasında Kullanılan Kriterlerin İstatistiksel Analizi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt. 10, No. 2, s. 211-219.

[15] Akbas, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, I., Balci, V., Bilginer E., et al. 2013. Turkey Geological Map, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara-Turkey. http://yerbilimleri.mta.gov.tr (Erişim Tarihi: 10.03.2018).

[16] Yarbaşı, N., Kalkan, E. 2009. Geotechnical Mapping for Alluvial Fan Deposits Controlled by Active Faults: A Case Study in the Erzurum, NE Turkey, Enviromental Geology, Cilt. 58, s. 701-714. DOI: 10.1007/s00254-008-1544-1.

[17] Koçyiğit, A., Canoğlu, M.C. 2017. Neotectonics and Seismicity of Erzurum Pull-apart Basin, East Turkey, Russian Geology and Geophysics, Cilt. 58, s. 99-122. DOI: 10.1016/j.rgg.2016.04.015.

[18] Konno, K., Ohmachi, T. 1998. Ground-motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor, Bulletin Seismological Society of America, Cilt. 88, No. 1, 228-241.

[19] Gök, E., Keçecioğlu, M., Çeken, U., Polat, O. 2012. İzmirNET İstasyonlarında Standart Spektral Oran Yöntemi Kullanılarak Zemin Transfer Fonksiyonlarının Hesaplanması, DEÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt. 14, No. 41, s.1-11.

[20] SESAME, 2004. Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations: Measurements, Processing and Interpretation. http://sesame-fp5.obs.ujfgrenoble.fr/Delivrables/Del-D23 (Erişim Tarihi: 13.04.2018).

[21] Rodriguez, M.A., Bray, J.D., Abrahamson, N.A. 2001. An Empricial Geotechnical Seismic Site Response Procedure, Earthquake Spectra, Cilt. 17, No. 1, s. 65-87.

[22] Dbybhy, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar, Türkiye Deprem Yönetmeliği, Ankara, s.159.

[23] Zhao, J.X., Irikura, K., Zhang, J., Fukushima, Y., Somerville, P.G., Asano A., Ohno Y., Oouchi T., Takahashi T., Ogawa H. 2006. An Empirical Site-Classification Method for Strong-motion Stations in Japan using H/V Response Spectral Ratio. Bulletin Seismological Society of America, Cilt. 96, No. 3, s. 914-925. DOI: 10.1785/0120050124.

[24] Yalçınkaya, E. 2005. BYNET (Bursa-Yalova-Türkiye İvme Ölçer Ağı) İstasyonlarında Yerel Zemin Etkilerinin İncelenmesi, DEÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt. 7, No. 2, s. 75-85.

[25] Yalçınkaya, E., Alptekin, Ö. 2005. Site Effect and Its Relationship to the Intensity and Damage Observed in the June 27, 1998 Adana-Ceyhan Earthquake, Pure and Aplied Geophysics, Cilt. 162, s. 913-930. DOI: 10.1007/s00024-004-2648-5.

[26] Chavez-Garcia, F.J. 2011. Site Effects due to Topography and to Soft Soil Layers: Progress Made and Pending Issues: A Personal Perspective. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, 10-13 January, Santiago, 105-136.

[27] Chavez-Garcia, F.J., Pedotti, G., Hatzfeld, D., Bard, P.Y., 1990. An Experimental Study of Site Effects Near Thessaloniki (Northern Greece), Bulletin Seismological Society of America, Cilt. 80, No. 4, s. 784-806.

[28] Steidl, J.H., Tumarkin, A.G., Archuleta, R.J. 1996. What is a Reference Site ?, Bulletin Seismological Society of America, Cilt. 86, s. 1733-1748.

[29] Lermo, J., Chavez-Garcia. F. J. 1993. Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios with only One Station, Bulletin Seismological Society of America, Cilt. 83, s. 1574-1594.

[30] Bergamaschi, F., Cultrera, G., Luzi, L., Azzara, R.M., Ameri, G., Augliera, P. et al. 2011. Evaluation of Site Effects in the Aterno River Valley (Central Italy) from Aftershocks of the 2009 L'Aquila Earthquake, Bulletin of Earthquake Engineering, Cilt. 9, No. 3, s. 697-715. DOI: 10.1007/s10518-011-9245-7.

[31] Stephenson, W.R. 2007. HVSR, SSR and V(S) 30 Values at Three New Zealand Basin Arrays. Journal of Earthquake Engineering, Cilt. 11, No.6, s. 987-1009. DOI: 10.1080/13632460701385358.

[32] Ateş, A. 2016. 1999 Düzce Depreminde Zemin Yapı Rezonans Uyuşumuna Bağlı Oluşan Yapı Hasarlarının Araştırılması, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt. 4, s. 911-925.

[33] Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1990, Ankara.

[34] 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, Cilt. 229, s. 88-97. DOI: 10.1016/j.pepi.2014.01.011.

[35] Wessel, P., Smith, W.H.F. 1998. New, Improved Version of the Generic Mapping Tools Released, Eos Transactions American Geophysical Union, Cilt. 79, No. 47, s. 579. DOI: 10.1029/98EO00426.

[36] Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F. 2013. 1/1.125.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara, Türkiye,. http:// http://yerbilimleri.mta.gov.tr/ (Erişim Tarihi: 13.07.2018).

EKLER

Tablo 1. Seçilen depremlere ait parametreler ve kaydedildikleri istasyonlar

Deprem No	Deprem Kodu	Boylam	Enlem	Büyüklük	Kaydedilen İstasyonlar									
					Merkez	Aşkale	Horosan	Ilıca	Merkez _SS	Narman	Pasinler	Şenkaya	Karaçoban	Oltu
1	201307170140	41,9477	40,5143	3,9	X	X	X	X			X	X		
2	201309172040	41,4027	39,037	5,1	X	X	X	X	X	X	X	X		
3	201309172314	41,3833	39,0798	4,0	X			X	X	X	X			
4	201309181822	41,6773	39,6987	4,3	X		X	X	X	X	X	X		
5	201310042250	42,9488	39,988	4,3			X	X		X	X	X		
6	201404271942	41,814	39,8686	3,8			X		X	X	X			X
7	201405280003	42,3998	40,4911	4,3	X	X	X	X	X	X	X	X		X
8	201411170032	41,727	39,806	3,4	X		X	X	X	X	X			
9	201503172321	41,6683	40,3971	3,9	X		X	X		X	X	X		
10	201504112201	42,1645	39,3293	3,8	X		X	X	X	X	X			
11	201506220455	42,3111	40,3448	3,7			X			X	X	X		X
12	201509160014	42,3126	40,423	3,9	X		X	X		X	X	X		X
13	201510281430	41,2265	39,4711	3,7	X			X	X	X	X			
14	201512022327	40,217	39,261	5,3	X	X			X	X				X
15	201702101227	42,5345	39,777	4,5			X			X	X	X	X	
16	201703240854	42,2395	40,0175	4,1			X			X	X	X	X	X
17	201705111758	40,705	40,0566	4,7	X		X	X	X		X		X	X

Tablo 2. Seçilen depremlere ait episantr uzaklıkları

	Episantr Uzaklıkları									
Deprem No	Merkez	Aşkale	Horasan	Ilıca	Merkez_SS	Narman	Pasinler	Şenkaya	Karaçoban	Oltu
1	90	127	56	96	-	-	64	34	-	-
2	79	116	130	104	97	151	107	187	-	-
3	92	-	-	99	89	147	103	-	-	-
4	42	-	57	55	43	74	31	111	-	-
5	-	-	66	157	-	100	109	82	-	-
6	-	-	36	-	50	54	17	-	-	76
7	117	160	54	126	122	48	84	9	-	35
8	41	-	46	55	44	61	19	-	-	-
9	65	-	58	69	-	17	47	60	-	-
10	100	-	79	113	101	116	83	-	-	-
11	-	-	36	-	-	38	68	24	-	35
12	107	-	44	116	-	39	74	16	-	30
13	48	-	-	53	45	111	68	-	-	-
14	70	112	-	-	72	97	-	-	-	208
15	-	-	43	-	-	64	77	89	71	-
16	-	-	6	-	-	49	49	61	86	63
17	50	-	125	37	49	-	83	-	135	122