DETERMINATION OF SOIL AMPLIFICATION OF SAND SOILS USING MICROTREMOR METHOD WITH ADDED WASTE RUBBER PARTS

ATIK LASTİK PARÇACIKLARI İLAVE EDİLEN KUMLU ZEMİNLERİN MİKROTROMOR YÖNTEMİ İLE ZEMİN BÜYÜTMELERİNİN BELİRLENMESİ

Hamit Çakıcı[a], Çağlar Özer[b], M. Engin Kocadağıstan[c], A.Şahin Zaimoğlu[d]

[a]Atatürk Üniversitesi, Pasinler Meslek Yüksek Okulu, Erzurum, Türkiye, E-Posta: hcakici@atauni.edu.tr
[b]Atatürk Üniversitesi, Deprem Araştırma Merkezi, Erzurum, Türkiye, E-Posta: caglarozer@atauni.edu.tr
[c]Atatürk Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Böl., Erzurum, Türkiye, E-Posta: mengink@atauni.edu.tr
[d]Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Böl., Erzurum, Türkiye, E-Posta: zaimoglu@atauni.edu.tr

Özet

Zemin-yapı ilişkisinin belirlenmesi özellikle depremlerde meydana gelebilecek hasarların azaltılmasında çok önemlidir. Depremlerde yapı hasarları, üzerlerine oturduğu zemin ortamı ile zemin transfer fonksiyonu arasında ilişkiye bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple zemin büyütme konusu tüm inşaat mühendisi ve yer bilimcilerin ilgisini çekmektedir. Sismik dalgalar kaynaktan belirli frekans boyutlarında çıktıktan sonra, yayıldıkları ortamın bazı fiziksel özelliklerine bağlı olarak genliklerinde bir takım değişiklikler meydana gelmektedir. Genel olarak, yumuşak zeminlerde zemin transfer fonksiyonu düşük büyütme gösterirken, sert zeminlerde yüksek büyütmeler gözlenmektedir. Çalışmada farklı rölatif sıkılıklarda (% 60 ve %80) hazırlanan kötü derecelenmiş kum ve farklı oranlarda (ağırlıkça %0,5, %1,% 2) atık lastik parçacıkları kullanılmıştır. Kum zemin içerisine belirlenen oranlarda atık lastik parçacıkları ilave edilerek arazide 30 cm çapında 50 cm yüksekliğinde silindir şeklindeki kalıplara her bir rölatif sıkılıkta yerleştirilmiştir. Daha sonra mikrotremor yöntemi ile her bir silindir üzerinde 60'ar dakika ölçüm alınarak zemin büyütmeleri belirlenmiştir. Mikrotremor ölçümlerinde CMG-6TD tipi sensör kullanılmıştır. Mikrotremor sonuçları Yatay/Düşey (Nakamura) spektral oran yöntemi kullanılarak irdelenmiştir. Fourier dönüşümü ile zaman ortamındaki veriler frekans ortamına taşınarak verilerin frekans içerikleri ve genlikleri ile ilgili analizler yapılmıştır. Ölçüm ve değerlendirme aşamasında SESAME kriterleri esas alınmıştır. Karşılaştırma yapılabilmesi için zemin büyütmeleri hesaplanırken veri-işlem parametreleri sabit tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda kum zeminde ilave edilen atık lastik parçacıkları zemin büyütmelerini azaltıcı yönde etkilediği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Mikrotremor, kum, lastik, zemin büyümesi

Abstract

Determination of earthquake-soil-structure relationship is very important in reducing damages. Structure damage in earthquakes is closely related to the soil characteristic and soil transfer function. Civil engineers and earth scientists are interested in soil amlification for this reason. Seismic waves propagate from source at certain frequency, some changes occur in amplitude depending on some physical properties of the soil. In general, soil transfer function is low on loose soil, and high amplification on compact soil. In this study, the effect of the materials used on artificial soils formed by using different materials on soil amlificaiton will be investigated.. For this reason, different amounts of waste rubber particles (%0,5, %1, %2) were added to the sand soil. In the survey, 30 cm x 30 cm x 50 cm prism-shaped molds were added to the rubber in the specified proportions of waste sand was placed at a medium density. Subsequently, microtremor method was used to calculate soil amplification on each prism by measuring at least 60 minutes. CMG-6TD type sensor was used for microtremor measurements. Microtremor results were examined by using Horizontal / Vertical (Nakamura) spectral ratio method. It was converted from time domain to frequency domain using Fourier transform, frequency and amplitude contents were analyzed. SESAME criteria were used in the measurement and

evaluation stage. In order to compare the effect of material, data-processing parameters were kept constant. As a result of this measurements, it was observed that the waste rubber pieces added on the sand soil decreased the soil amplification.

Keywords: Microtremor, sand, rubber, soil amplification

1. Giriş

Yirminci yüzyılda başlayan ve günümüzde de devam eden hızlı nüfus artışıyla birlikte ihtiyaçlara bağlı olarak üretimde ve kullanım sonrasında ciddi oranlarda plastik atıklar, lastik artıkları, atık lastikler, uçucu kül, cam v.b gibi atık malzemeleri oluşmaktadır **[1].** Oluşan bu atık malzemeleri çevre kirliliğine neden olasının yanı sıra faydalı alan kullanımını sınırlamaktadır. Bu nedenle bilim dünyasında oluşan bu atık malzemeler değerlendirilerek katkı malzemesi veya yeni ürünler elde edilmesine yönelik sürekli farklı çalışmalar yürütülmektedir. İnşaat mühendisliği uygulamalarında atık lastik parçacıkları tek başına kullanılmaktan çok zeminle belirli oranlarda karıştırıldıktan sonra kullanılmaktadır. Bu durum atık lastiklerin sahip olduğu düşük kayma mukavemeti sonucu oluşabilecek geoteknik problemlerin önüne geçmektedir **[3].** Geoteknik mühendisliği açısından atık lastik, yollarda, istinat duvarlarında ve geri dolgu malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır **[2]**. Ayrıca atık lastik parçacıkları-zemin karışımları, birçok dolgu ve dayanma yapısında hafif ağırlıklı dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır **[4-6].** Mekanik yollarla parçalanmasıyla elde edilen çeşitli boyutlara sahip atık lastik parçacıklarının zeminlere katkı malzemesi olarak kullanılması ekonomiye ve çevre kirliliğinin azalmasına önemli katkı sağlamaktadır.

Mikrotremorlar, zeminlerin bazı dinamik parametrelerinin tahmininde yaygın olarak kullanılan, çoğunlukla doğal kökenli verilerdir. Bunlar trafik, kültürel, endüstri, rüzgâr gibi etkenler ile oluşmakta, gündüzleri geceden daha etkin olup, dalga biçimleri düzensizdir. Düşük enerjili, genlikleri mikron mertebesinde, periyotları 0,005–2 sn kadar süren sismik dalgalardır. Genel olarak, bu tür titreşimler, cisim ve yüzey dalgalarının yer yüzeyindeki girişimleriyle oluşmakta ve enerjilerinin büyük kısmı yüzey dalgası olarak yayılmaktadır. Mikrotremorların en önemli özelliği, noktadan noktaya belirgin değişimler göstermesidir. Bu değişimler, ölçülen yerin sığ jeolojik özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Mikrotremor yöntemi, titreşimlerin bu özelliğine dayanarak geliştirilmiştir **[7]**. Mikrotremor ölçümleri depremsel geoteknik mühendisliğinde yerel zemin koşullarını belirlemek için çok kullanılan ve umut vadeden yöntemlerden biri olmuştur. İlerleyen teknolojiye paralel deney cihazlarındaki gelişmeler mikrotremor ölçümlerinin kullanabilirliği artmış ve zeminlerin spektral büyütme, zemin hakim periyodu, anakaya derinliği, eşdeğer (ortalama) kayma dalgası hızı profilleri gibi farklı saha özelliklerini belirlemek ve yerel zemin davranışı özelliklerini bulmak için bir çok yeni mikrotremor yöntemi geliştirilmiştir **[8].** Sert yerlerde periyot ve genlikleri, yumuşak yerlere oranla daha küçüktür. Dolayısıyla baskın periyot süresi de o denli kısadır. Mikrotremorların periyot spektrumları alınan zemin yapısına bağlı olarak benzer özellikler gösterebilmektedir. Kanai ve Tanaka (1961), geliştirmiş olduğu bir yöntemle mikrotremorlar ile depremler arasında yakın bir ilişkinin olduğunu; depremler sırasındaki yerin baskın periyotlarının, mikrotremor ölçümlerinden elde edilen yerin baskın periyodu ile yakın bir ilişki içerisinde olduğunu, özellikle yerin yalın ve tekdüze olması durumunda bu benzerliğin daha çok olduğunu belirtmiştir **[9]**. Sondaj maliyetleri ile karşılaştırıldığında uygulama kolaylığı ve hızlı çözümlenmesi sayesinde mikrotremor yöntemi zemin dinamik parametrelerinin belirlenmesinde sık kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Noktasal bazda mikrotremor ölçümlerinde yatay spektrumlarının düşey spektrumlarına oranlanmasıyla zemin etkilerinin hesaplanabildiği Nakamura tarafından ifade edilmiştir **[10].**

Bu çalışmada atık lastik parçacıklarının kötü derecelenmiş kum zeminlerde % 60 ve % 80 rölatif sıkılıkta, zemin büyütmesine olan etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla kum zemine farklı oranlarda atık lastik parçacıkları ilave edilerek farklı rölatif sıkılıktaki hazırlanan 30 cm çapında 50 cm yüksekliğinde silindir numuneler üzerinde mikrotremör yöntemi kullanılarak HVSR analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmanın sonuçları değerlendirilerek gerekli öneriler sunulmuştur.

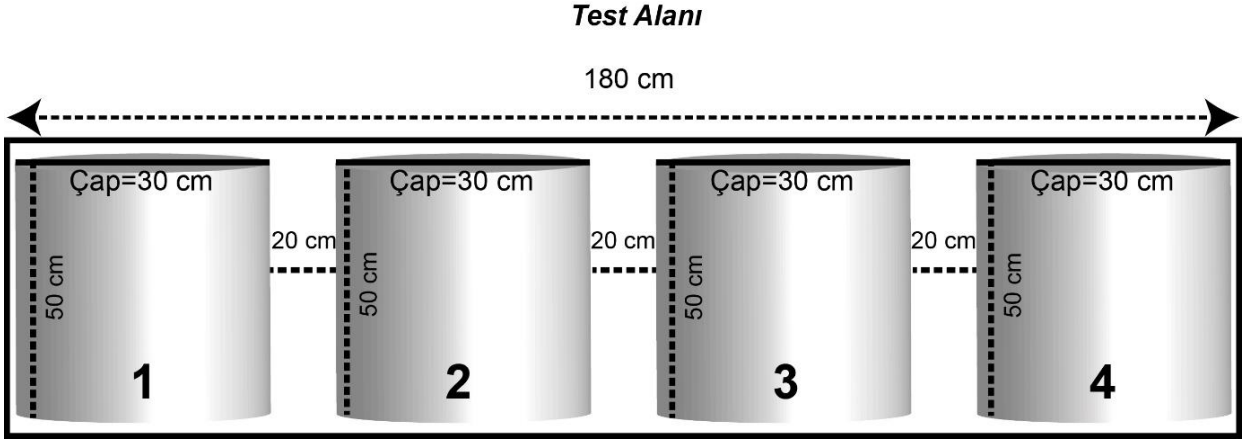
2. Yöntem

Yapılan çalışmanın yöntem bilimi, çalışmanın amacına uygun şekilde birbirini takip eden iki temel aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, kum malzemesinin ve lastik atıkların konulacağı 30 cm yarıçaplı 50 cm yüksekliğinde 10 adet silindir kalıp imal edilmiştir. Bu silindir kalıpların içerisine % 60 ve %80 rölatif sıkılıkta olacak şekilde ayrı ayrı sırasıyla %100 Kum (1ve 5 nolu numune), % 0,5 lastik atığı + %100 Kum (2 ve 6 nolu numune), % 1 lastik atığı + %100 Kum (3 ve 7 nolu numune) , % 2 lastik atığı + %100 kum (4 ve 8 nolu numune) ve % 100 lastik atığı (9 ve 10 nolu numune) yerleştirilerek silindir numuneler hazırlanmıştır. İkinci aşamada Guralp CMG-6TD tipi sensör bu malzemelerin üzerine yerleştirilerek her bir numunenin hakim frekansı ve zemin büyütme değerlerindeki etkilerin denetlenmesi yapılmıştır. Yatay Bileşenin Düşey Bileşene Spektral Oranı (Nakamura ya da HVSR yöntemi); düşey bileşenli dalgaların genliğinde değişmenin çok fazla olmayacağını, yatay bileşenli dalgaların ise geçtiği zemin özelliklerinden etkileneceğini varsaymaktadır. Böylelikle yüzey jeolojisinden kaynaklanan yerel etki, yatay ve düşey bileşenlerin spektral oranı ile bulunabilmektedir. Sonuç olarak, elde edilen 10 farklı malzeme yorumlanarak zemin büyüme etkisinin önemi belirtilmiştir.

2.1 Verilerin Toplanması

Deneylerde kullanılan kum zemin Erzurum Horasan ilçesi Aras nehri mevkiinden temin edilmiştir. Kum zemin için laboratuvarda sırasıyla elek analizi, tane birim hacim ağırlığını, maksimumve minimum boşluk oranı TS 1900 [11] e göre belirlenmiştir. Lastik atık malzemesinin tane birim hacim ağırlığını, maksimum ve minimum boşluk oranı üretici firmadan temin edilmiştir.

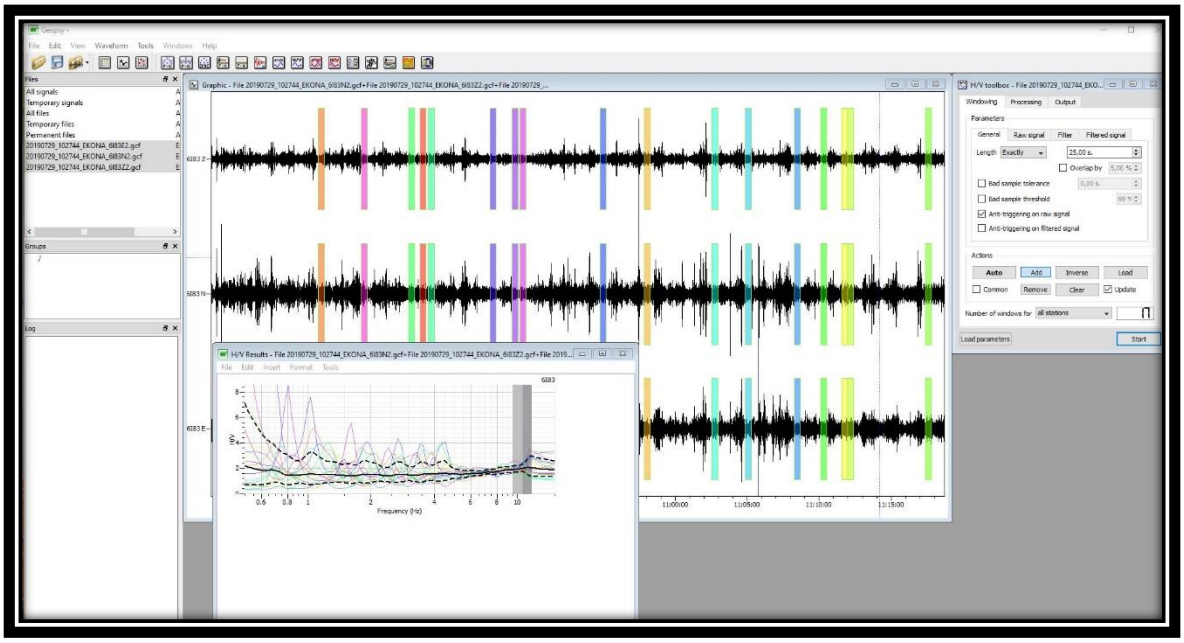
Yukarıda yapılan zeminin temel fiziksel özelliklerinin belirlenmesine ilave olarak çalışmada hazırlanan 10 adet silindir numunelerin zemin hakim frekansı ve zemin büyütme değerlerindeki etkilerin denetlenmeside yapılmıştır. Bu amaçla bir test alanı hazırlanmıştır (Şekil 1a ve 1b).



Şekil 1a. Arazide oluşturulan test alanı



Şekil 1b. Arazi çalışmasına ait örnek görsel

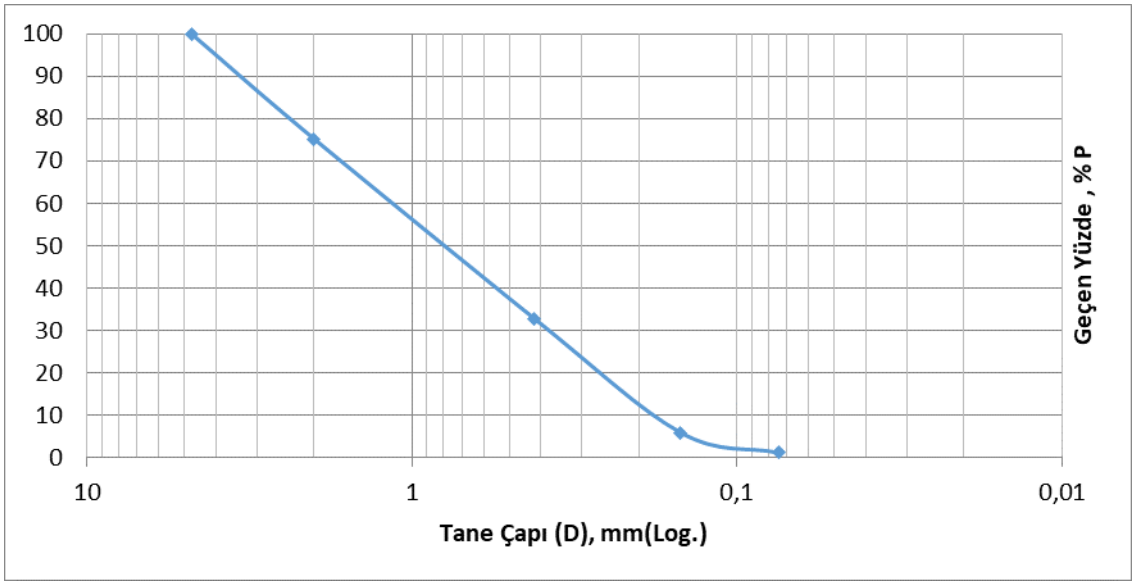


Şekil 2. Geopsy yazılımı ile değerlendirme aşamaları

Mikrotremor ölçümlerinde Güralp CMG-6TD marka sismometre kullanılmıştır. Kayıtlar en az 60 dk boyunca ve 100 Hz örnekleme aralığı ile gerçekleştirilmiştir. Veri değerlendirme aşamasında Geopsy yazılımı kullanılmıştır [12]. Değerlendirmede, mikrotremor verilerinin trend etkisi giderildikten sonra 0.5-15 Hz aralığında bant geçişli süzgeç ve 25 sn'lik pencereler kullanılarak %5 kosinüs filtre uygulanmıştır. Her bir pencere için Hızlı Fourier Dönüşümü uygulanarak her bir bileşene ait genlik spektrumları elde edilmiştir (Şekil 2). Elde edilen spektrumlara ise band genişliği 40 olarak belirlenerek Konno-Ohmachi yuvarlatması uygulanmıştır [13-16].

3. Deneysel Bulgular

Elek analizi sonucunda kum zemine ait Dane Boyutu Dağılımı Eğrisi Şekil 3 te gösterilmiştir. Kum zemin USCS sınıflamasına göre kötü derecelenmiş kum (SP) olduğu belirlenmiştir. Lastik atığının γ_s değeri 1,01 gr/cm^3 olarak alınmış olup rölatif sıkılık (D_r) % 60 ve % 80 için yapılmıştır. Kum zemine ait temel fiziksel özellikler aşağıda çizelge 1 de verilmiştir.



Şekil 3. Kum zemine ait dane boyutu dağılımı eğrisi

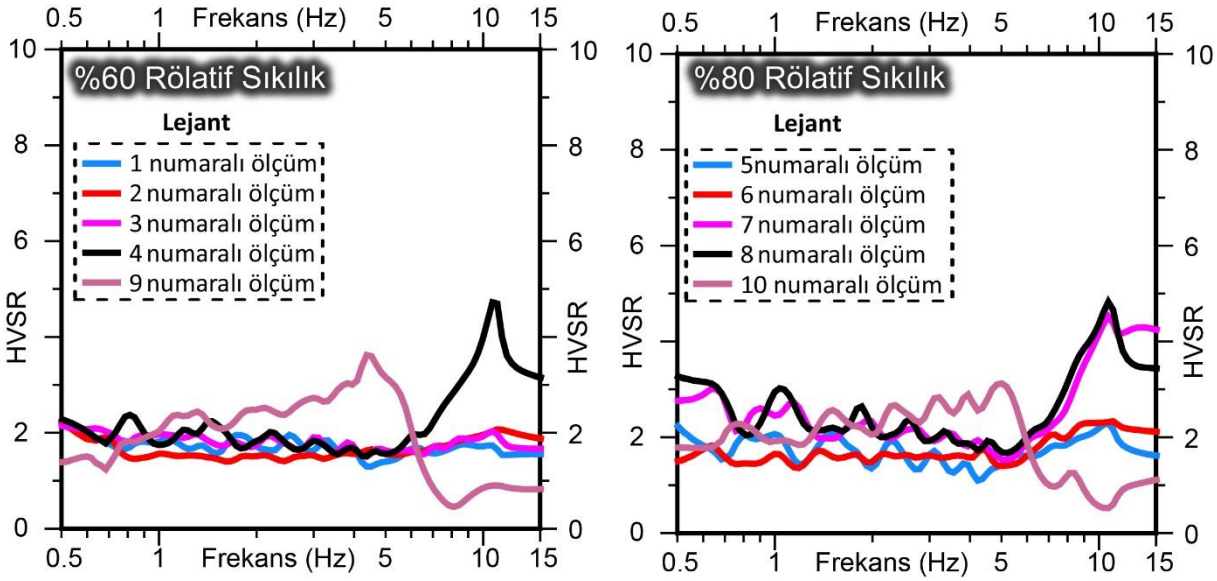
Çizelge 1. Temel fiziksel özellik değerleri

Zemin Malzemesi	γ_s (gr/cm^3)	e (% 60 Dr için)	e (% 80 Dr için)	e_{max}	e_{min}
Kum	2,39	0,722	0,636	0,98	0,55

Mikrotremör yöntemi ile her bir silindir numuneye ait zemin büyütmeleri Şekil 5'te sunulmaktadır. Ayrıca Çizelge 2'de yapılan deneye ait açıklamalar sunulmaktadır.

Çizelge 2. Deney Planı

No	Açıklama
1	%60 Rölatif sıkılıkta %0 Atık lastik %100 Kum
2	%60 Rölatif sıkılıkta %0.5 Atık lastik %100 Kum
3	%60 Rölatif sıkılıkta %1 Atık lastik %100 Kum
4	%60 Rölatif sıkılıkta %2 Atık lastik %100 Kum
5	%80 Rölatif sıkılıkta %0 Atık lastik %100 Kum
6	%80 Rölatif sıkılıkta %0.5 Atık lastik %100 Kum
7	%80 Rölatif sıkılıkta %1 Atık lastik %100 Kum
8	%80 Rölatif sıkılıkta %2 Atık lastik %100 Kum
9	%60 Rölatif sıkılıkta %100 Atık lastik %0 Kum
10	%80 Rölatif sıkılıkta %100 Atık lastik %0 Kum



Şekil 5. a) %60 Rölatif sıkılıkta farklı malzeme oranları ile elde edilen zemin HVSR büyütmeleri. b) %80 Rölatif sıkılıkta farklı malzeme oranları ile elde edilen zemin HVSR büyütmeleri

Nakamura (1989) [10] gevşek zeminlerde düşük frekanslarda yüksek büyütmeler gözlenirken, kompakt birimlerde daha düşük büyütmeler gözlendiğini belirtmiştir. %60 rölatif sıkılıkta laboratuvar imkanları ile hazırlanan malzemeler ile yapılan deneyde; %100 kum, %100 kum+%0,5 lastik atık ve %100 kum+%1lastik atık numuneleri üzerindeki ölçümler sonucunda elde edilen HVSR hesaplamalarında kayda değer bir değişiklik tespit edilememiştir. %60 rölatif sıkılıkta %100 kum+%2 lastik atık ve %100 lastik malzemeler üzerinde alınan mikrotremor sonuçları 5 Hz'den sonra karakteristik bir değişime uğramıştır%100 kum+%2 lastik atık ile hazırlanan düzenekte, 5 Hz'den sonra yaklaşık 4.5 zemin büyütmesi 10 Hz'de gözlenmiştir. Öte yandan, %100 lastik ile hazırlanan numunede ise 3 Hz'den sonra diğer eğriler ile benzerliğini yitirmiştir. %60 rölatif sıkılıkta % 100 lastik ile elde edilen eğride, 5 Hz' de maksimum büyütme göstermekte ve daha sonra büyütme değerleri 10 Hz'e kadar kademeli olarak azalmaktadır. Tüm deney düzeneğinin aynı jeolojik ortam ve veri-işlem parametreleri ile gerçekleştirildiği düşünüldüğünde, bu farklılık mikrotremor yapılan noktanın altındaki lokal malzemelerin önemini ortaya çıkartmaktadır. 4 ve 9 numaralı ölçümde zemin hakim frekansları sırasıyla 10 Hz - 4 Hz ve HVSR zemin büyütmesi ise sırasıyla yaklaşık 5 ve 4 olarak tespit edilmiştir. Bu durum lastik miktarı arttıkça yüksek frekanslardaki zemin büyütmelerinin değiştiği anlamına gelmektedir (Şekil 5a). %80 rölatif sıkılıkta laboratuvar imkanları ile hazırlanan malzemeler ile yapılan deneyde; %100 kum ve %100 kum+%0,5 lastik atık numuneleri üzerindeki ölçümler sonucunda elde edilen HVSR hesaplamalarında önemli bir değişiklik tespit edilememiştir. %100 kum+ %1 lastik atık ve %100 kum + %2 lastik atık içeriğindeki

hesaplamalar ise benzerlik göstermektedir. %100 lastik oranıyla hazırlanan düzenek üzerindeki ölçümlerde ise Şekil 5a'ya benzer şekilde 5 Hz'den sonra bir değişim söz konusudur. Burada zemin hakim frekans ve büyütme değerleri sırasıyla 5 Hz ve ~3 HVSR büyütmesidir (Şekil 5b).

4. Sonuçlar

Yapılan deneyler sonucu rölatif sıkılık arttıkça zemin büyütmeleri azalmıştır. Bunun nedeni tanelerin birbirlerine daha yakınlaşması sonucu daha sıkı bir yapıya neden olması olarak düşünülmektedir. %60 ve %80 rölatif sıkılıklarda dört ve sekiz numaralı deneylerde %2 atık lastik kullanılarak hazırlanan numunede 5 Hz' den sonra önemli zemin büyütmeleri gözlenmiştir. Benzer şekilde sadece atık lastik kullanılarak yapılan dokuz ve on numaralı numunelerinde atık lastik etkisiyle 5 Hz' den sonra zemin büyütmelerinde bir azalma meydana gelmektedir. Diğer zemin büyütme eğrilerindeki benzerlik, malzeme karışım oranının zemin büyütmelerini yeteri kadar etkilememesinden kaynaklanmaktadır. %2 ve daha fazla atık lastik kullanıldığında eğrilerde gözle görülür bir değişim olduğu tespit edilmiştir. %2 ve %100 atık lastik kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde 5 Hz yani 2 sn'den sonra eğri trendleri değişmektedir. Hazırlanan numunelerde atık lastik miktarının zemin büyütmelerinde 5 Hz'den sonraki frekans bantlarında etkili olduğu gözlenmiştir. Bu çalışma ilksel sonuçları içermekte olup sonraki aşamada farklı malzemeler ve farklı su içeriklerindeki ortamda incelemeler yapılacaktır.

5. Kaynaklar

[1].Keskin, S.,Mustafa, L., "Atık Lastik-Kum karışımlarının kayma mukavemetinin laboratuar deneyleriyle incelenmesi", Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27(2),27-35, (2012).

[2].Umu,U.S.,Okur, V.D.,Yılmaz, Gülgün.,Fırat, S.,"Dinamik yükleme şartlarında kum/lastik karışımlarının rijitlik ve sönüm özelliklerinin incelenmesi",Politeknik Dergisi,17(1),13-21, (2014).

[3]. Zornberg,J.G., Alexandre, R.C., Viratjandr, C.,"Behaviour of tire shred-sand mictures", Canadian Geotechnical Journal, 41 (2), 227-241, (2004).

[4].Bosscher, P.J., Edil, T.B., Kuraoka, S., "Design of highway Embankments Using Tire Chips", Journal of Geotechnical and Geoenvirobmental Engineering ASCE, 123(4),295-304, (1997).

[5]. Humphrey, D.N., Kate, L.E., "Five Year Study of the Effect of Tire TDA Placed Above the Water Table on Groundwater Quality", Transportation Research, Record 1714, Transportation Research Board, Washington, D.C., 18-24, (2000).

[6]. Dickson, T.H., Dwyer, D.F., Humphrey, D.N., "Prototypes Tire-Shred Embankment Construction", Transportation Research, Record 1755, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 160-167, (2001).

[7]. Dikmen, Ü., Mühendislik Jeofiziği ve Uygulamaları Kitabı, Ankara, 311-344, (2005).

[8].Siyahi, B.,Selçuk, E.M.,Yerel zemin koşullarının belirlenmesinde mikrotremor ölçümlerinin kullanılması : Adapazarı Örneği, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 1167-1177, (2005).

[9]. Kanai, K.,Tanaka, T., "On Microtremors, VII", Bull Earthquake Res", Inst., Vol. 39, pp. 97-114, (1961).

[10]. Nakamura Y., "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface" Q. Rep. RTRI. Vol. 30, pp. 25-33, (1989).

[11]. TSE, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar Deneyleri, TS 1900, UDK 624.131, 1. Baskı, Ankara, (1987).

[12]. SESAME, Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations:Measurements,Processing and Interpretation. http://sesamefp5.obs.ujfgrenoble.fr/Delivrables/Del-D23 (2004).

[13]. Özdağ, Ö, Akgün, M, Pamuk, E, Kırnıç, E. "Zeminlerin Deprem-Zemin-Yapı Ortak Davranışı Kapsamında Jeofizik Yöntemlerle İncelenmesi: Balçova/İzmir Örneği". Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, 18 (54), 652-668, (2016).

[14]. Ozer, C. "Analysis of Soil Transfer Function in Izmir Metropolitan Area, Turkey", IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics, 5 (1), 63-70, (2017).

[15]. Ozer, C. Investigation of Soil Amplification in Lake Van Basin, Research Reviews in Engineering (Book Chapter), 63-75, ISBN: 978-605-7631-38-1, (2019a).

[16]. Ozer, C. Erzurum ve Çevresi Yerel Zemin Etkilerinin SSR ve HVSR Yöntemleri Kullanılarak Araştırılması. DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 21 (61), 247-257, (2019b).