

ATIK KAUÇUK YONGA DALGA BARIYERLERİNİN YER TİTREŞİMLERİNİ AZALTMADAKİ ETKİNLİĞİ

EFFECTIVENESS OF WASTE RUBBER CHIPS WAVE BARRIERS IN THE MITIGATION OF GROUND-BORNE-VIBRATIONS

Onur TOYGAR¹, Deniz ÜLGEN², Numan Burak FİDAN³

ÖZET

İnşaat çalışmaları, demir yolu ve kara yolu trafiği gibi titreşim kaynakları, yakın çevrelerine istenmeyen titreşimler yayarak çevre sakinlerinin yaşam konforunu düşürmekte ve hassas ekipmanlar içeren yapıları olumsuz yönde etkilemektedir. Son yıllarda bu gibi titreşim kaynaklarından meydana gelen yer titreşimlerinin yalıtılmasında dalga bariyerleri kullanılmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, içi boş hendek tipi dalga bariyerlerinin oldukça etkili bir yalıtım performansı ortaya koyduğu, ancak duraylılık ve bakım problemleri nedeniyle kullanımının kısıtlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle mevcut çalışmada, içi atık kauçuk yonga dolu hendek tipi dalga bariyerlerinin titreşim yalıtım performansı tam ölçekli saha deneyleriyle incelenmiştir. Deneyler, olası titreşim kaynaklarından oldukça uzak, boş bir arazide gerçekleştirilmiştir. Öncelikle serbest saha koşullarında, bir mobil sismik sarsıcı vasıtasıyla 10-80 Hz aralığında, frekans her bir deneyde 10 Hz arttırılarak sürekli titreşimler oluşturulmuş, titreşimlerin genlikleri belirli noktalara yerleştirilmiş olan ivme sensörleriyle ölçülmüştür. Sonrasında, 3 m derinliğinde bir hendek açılmış; hendeğin içi, ömrünü tamamlamış lastiklerin öğütülmesiyle elde edilen kauçuk yongalarla doldurulmuştur. Mobil sismik sarsıcının, dalga bariyerine göre konumu değiştirilerek titreşim deneyleri tekrarlanmıştır. Bariyerli ve bariyersiz durumda ölçülen ivme değerlerine göre, dalga bariyerinin titreşim yalıtım performansı niceliksel olarak tespit edilmiştir. Atık kauçuk yonga dalga bariyeri, 10 Hz gibi düşük frekanslarda yalıtım sağlayamasa da daha yüksek frekanslarda kayda değer bir yalıtım verimliliği ortaya koymuştur. Böylelikle, bir çevre problemi olan titreşim kirliliği, atık bir malzemeye farklı bir kullanım alanı kazandırılarak çözülmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Titreşim yalıtımı, atık malzeme, kauçuk yonga, hendek

¹ Arş. Gör. Dr., Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, onurtoyg@mu.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Prof. Dr., Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, denizulgen@mu.edu.tr

³ İnş. Yük. Müh., Geoport Yaz. Müh. San. ve Tic. A.Ş., numanburakfidan@yandex.com



ABSTRACT

Vibration sources such as construction activities, railway and highway traffic may generate undesired vibrations in their immediate vicinity, reducing the quality of life for residents and adversely affecting structures having sensitive equipment. In recent years, wave barriers have been employed to isolate ground-borne vibrations caused by such sources. Previous studies in the literature indicate that open trench-type wave barriers exhibit significant isolation performance, yet their use is limited due to stability and maintenance issues. In this study, the vibration isolation performance of trench-type wave barriers filled with waste rubber chips was investigated through full-scale field experiments. The experiments were conducted in a field far from potential vibration sources. First, continuous vibrations were generated under free-field conditions in the range of 10-80 Hz using a mobile seismic shaker, with the frequency increased by 10 Hz in each experiment and the amplitudes of the vibrations were measured by accelerometers located at specific points. Then, a 3 m deep trench was excavated, and filled with rubber chips obtained from grinding out-of-service tires. Vibration tests were repeated by changing the position of the mobile seismic shaker relative to the wave barrier. The vibration isolation performance of the wave barrier was quantitatively determined by comparing acceleration values measured in the presence and absence of the barrier, respectively. Although the waste rubber chips wave barrier did not supply any isolation at low frequencies such as 10 Hz, it provided a sufficient isolation efficiency at higher frequencies. Thus, vibration pollution, an environmental problem, was attempted to be addressed by repurposing waste material for a different application.

Keywords: Vibration isolation, waste material, rubber chips, trench

1. Giriş

Karayolu ve demiryolu trafiği, inşaat çalışmaları ve makine temelleri gibi kaynaklar, yakın çevrelerine istenmeyen titreşimler yayarlar. Son yıllarda bu gibi titreşim kaynakları, hızlı kentleşmenin de etkisiyle insanların yaşam alanlarıyla iç içe geçmiş, dolayısıyla, bu gibi titreşimlerin yalıtılması önemli bir konu haline gelmiştir. Titreşim kaynağının doğrudan yalıtılmadığı durumlarda dalga bariyerleri, titreşimlerin etkisini azaltmada sıklıkla kullanılmaktadır. Hendek (Woods, 1968; Çelebi vd., 2009; Ülgen ve Toygar, 2015), kazık (Kattis vd., 1999), palplanş (Dijckmans vd., 2016) ve diyafram duvar (Comina ve Foti, 2007) bu amaçla kullanılan dalga bariyerlerinden bazılarıdır.

Dalga bariyerlerinin kullanım amacı, titreşim kaynağı ile titreşimlerden korunmak istenilen alan arasında zeminde bir süreksizlik yaratarak titreşimlerin yayılımını azaltmaktır (Toygar vd., 2024). İçi boş hendek tipi dalga bariyerlerinde, zemin yüzeyinde tamamen bir süreksizlik yaratılarak titreşimlerin yüzeyden geçişi engellenirken diğer dalga bariyerlerinde kullanılan malzemeye göre titreşimlerin sönümlenmesi ya da bariyerden yansyarak bariyerin arkasındaki alanda titreşimlerin etkisinin azaltılması hedeflenir. Aynı boyutlardaki içi boş hendekler ile çeşitli dalga bariyerlerinin yer titreşimlerini azaltmadaki verimliliği karşılaştırıldığında; içi boş hendekler, çoğu dalga bariyerinden daha iyi bir yalıtım performansı ortaya koymuştur (Barkan, 1962; Woods, 1968; Dasgupta vd., 1990; Ahmad ve



Al-Hussaini, 1991; Kattis vd., 1999; Andersen ve Nielsen, 2005; Çelebi vd., 2009; Ülgen ve Toygar, 2015; Sitharam vd., 2018; Mahdavisefat vd., 2018). Yalıtım performansına etki eden parametreler incelendiğinde; hendek derinliğinin oldukça önemli olduğu, derinlik arttıkça yalıtım performansının arttığı görülmüştür (Ahmad ve Al-Hussaini, 1991; Andersen ve Nielsen, 2005; Saikia ve Das, 2014; Sitharam vd., 2018; Toygar ve Ülgen, 2021). Özetle, derin, içi boş hendekler görece daha iyi bir titreşim yalıtımı sağlamaktadır. Titreşim yalıtımına etki eden ana parametreler; hendek derinliği, titreşim frekansı (f), kaynak-bariyer arası mesafe, titreşimden korunmak istenilen yerin konumu ve yerel zemin özellikleridir.

İçi boş hendekler, duraylılık problemi nedeniyle her tip zeminde, istenilen derinliklerde imal edilememektedir. Özellikle yerleşim yerlerinde içi boş ve açık bir şekilde bırakılmaması, yağmur kaynaklı su dolması, olası yerel göçmeler vb. bakım problemleri de göz önünde bulundurulduğunda, bu tip dalga bariyerlerinde bir dolgu malzemesi kullanımı ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda; bentonit (Comina ve Foti, 2007; Çelebi vd., 2009), EPS (genleştirilmiş polistiren) (Alzawi ve El Naggat, 2011; Ülgen ve Toygar, 2015; Jauhari vd., 2023), su (Çelebi vd., 2009, Ülgen ve Toygar, 2015), beton (Beskos vd., 1986; Çelebi vd., 2009; Zoccali vd., 2015) ve kauçuk yonga (Andersen ve Nielsen, 2005; Zoccali vd., 2015; Hassoun, 2018) gibi dolgu malzemeleri kullanılmış, bu bariyerlerin yalıtım performansı saha deneyleri ve sayısal çalışmalarla incelenmiştir. EPS ve kauçuk yonga gibi zemine göre yoğunluğu düşük olan malzemelerle doldurulmuş hendeklerin, içi boş hendeğe yakın yalıtım performansları gösterdiği görülmüştür. EPS, petrol bazlı bir ürün olup çeşitli işlemlerden geçirilerek belirli amaçlar için üretilmekteyken kauçuk yonga, kullanım ömrünü tamamlamış araç lastiklerinden elde edilen bir geri dönüşüm ürünüdür. Bu nedenle mevcut çalışmada dolgu malzemesi olarak atık kauçuk yonga kullanılmıştır.

Son yıllarda; araç sayısındaki, lastik ve kauçuk üretimindeki artış göz önünde bulundurulduğunda atık araç lastiklerinin yönetimi önemli bir çevre problemi haline gelmiştir (Zedler vd., 2022). Zedler vd. (2022); 32 Avrupa ülkesinde, atık lastiklerin % 52'sinin geri dönüşüm, % 40'ının enerji, % 5'inin bilinmeyen ve % 3'ünün inşaat uygulamaları amacıyla kullanıldığını belirtmiştir. Her ne kadar atık lastiklerin büyük bir oranı çeşitli amaçlarla kullanılsa da bilinmeyen % 5'lik kısım çeşitli çevre problemlerine yol açmaktadır. Yüksek sünekliği ve enerji soğurma kapasitesi nedeniyle atık kauçuk yongalar, titreşim yalıtımı amacıyla kullanılmak için iyi bir alternatiftir (Manohar ve Anbazhagan, 2021).

Atık kauçuk yonga, ömrünü tamamlamış araba lastiklerinin içindeki çelik kayışların sökülmesinden sonra küçük parçalara ya da toz haline getirilmesiyle elde edilen bir geri dönüşüm malzemesidir (Manohar ve Anbazhagan, 2021). Atık kauçuk yonga dalga bariyerlerinin titreşim yalıtım performansını inceleyen çok az sayıda saha deneyi vardır. Hassoun (2018), içi boş hendek ve kauçuk yonga bariyerin yalıtım verimliliğini, kısıtlı bir frekans aralığında gerçekleştirilmiş olan tam ölçekli saha deneylerinin sonuçlarına göre karşılaştırmıştır. İçi boş hendek genel olarak daha iyi bir yalıtım performansı ortaya koysa da frekans arttıkça kauçuk yonganın yalıtım verimliliği içi boş hendeğe yaklaşmış ve benzer bir eğilim göstermiştir. Andersen ve Nielsen (2005), birleşik Sonlu Elemanlar ve Sınır Elemanlar Yöntemleri kullanarak kauçuk yonga dalga bariyerleri modellemiş, özellikle yüksek hızlardaki tren kaynaklı titreşimleri % 50 civarında azalttığını ortaya koymuştur.



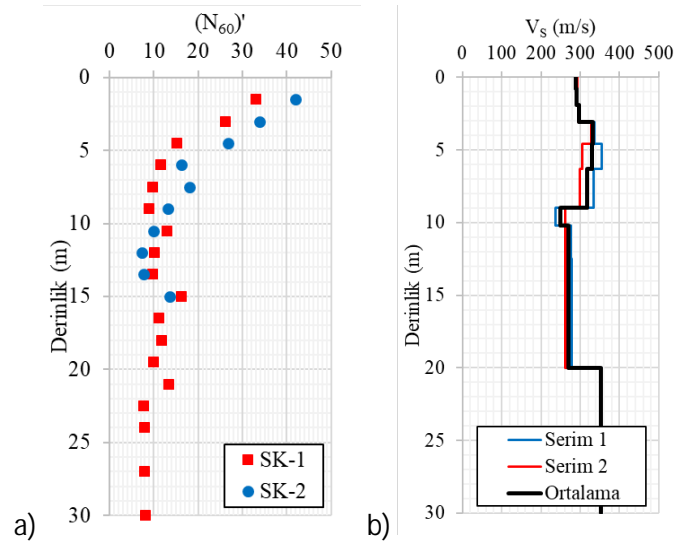
Buonsanti vd. (2009) ve Zoccali vd. (2015) ise Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanarak yaptıkları sayısal analizler sonucunda, kauçuk yonga dalga bariyerleri yerine sert dalga bariyerlerinin kullanımının tren kaynaklı titreşimleri azaltmada daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Mahdavisefat vd. (2018) ve Chew ve Leong (2019), kauçuk yongaları farklı oranlarda kum ile karıştırarak elde ettikleri SRM (sand-rubber mixture) dalga bariyerlerinin titreşim yalıtım performansını saha deneyleriyle incelemiş, kauçuk oranı arttıkça yalıtım verimliliğinin arttığını ifade etmiştir. Rizvi vd. (2023) SRM dalga bariyerleri kullanılarak gerçekleştirilen saha deneylerinin sonuçlarını kullanarak doğrulanmış bir Sonlu Elemanlar Modeli oluşturmuş, kauçuk oranı arttıkça yalıtım performansının arttığını, % 100 kauçuk yonga bariyerin, içi boş hendeğe benzer bir performans gösterdiğini belirtmiştir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; atık kauçuk yonga dalga bariyerlerinin titreşim yalıtım performansına odaklanan çok az sayıda deneysel çalışma olduğu, çalışmaların da kısıtlı bir frekans aralığında olduğu görülmüştür. Bu nedenle mevcut çalışmada, atık kauçuk yonga dalga bariyerlerinin titreşim yalıtım performansı, tam ölçekli saha deneyleri ile kapsamlı bir şekilde parametrik olarak incelenmiştir. Atık kauçuk yonga gibi bir geri dönüşüm ürünü kullanılarak, titreşim kirliliği gibi bir çevre problemine bir çözüm alternatifi getirilmesi amaçlanmıştır.

2. TEST SAHASI

Saha deneyleri; Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi'nin Milas'ta (Muğla) bulunan, çevresel titreşimlerden uzak, boş bir arazisinde gerçekleştirilmiştir. Öncelikle detaylı bir zemin etüdü yapılarak yerel zeminin fiziksel ve dinamik özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 1. Zemin özelliklerinin derinlikle değişimi a) SPT (N₆₀)' b) kayma dalgası hızı

Arazide, derinlikleri 15 m ve 30 m olan iki adet sondaj kuyusu (SK) açılmış, her 1.5 m derinlikte Standart Penetrasyon Testi (SPT) gerçekleştirilmiştir. Ayrıca SPT yapılan derinliklerden zemin örnekleri alınmış, bu numuneler zemin sınıflandırma deneylerine tabi



tutulmuştur. Yerel zemin, genel olarak az miktarda silt içeren düşük plastisiteli kil olup, USCS'e (Unified Soil Classification System) göre CL olarak sınıflandırılmıştır. 15-19.5 m derinliklerinde siltli kil içeren bir kum bandı görülmüş, bu bölge SM olarak sınıflandırılmıştır. Yeraltı su seviyesi 10 m derinlikte gözlenmiştir. Düzeltilmiş SPT N_{60} ' değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 1a'da sunulmuştur.

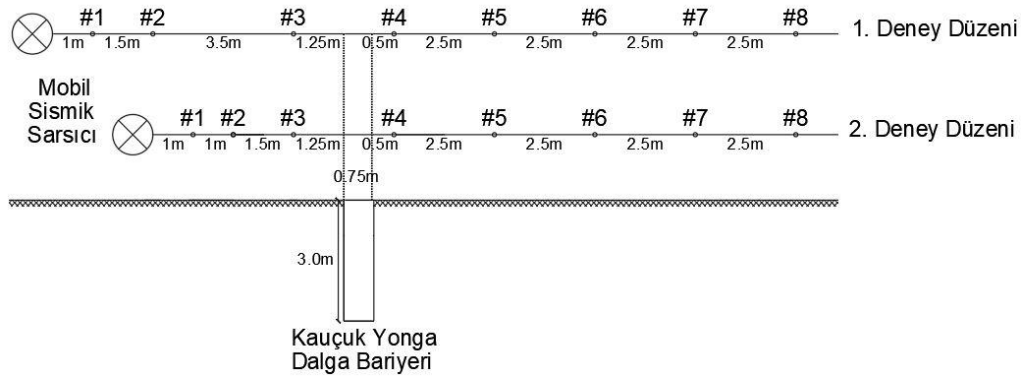
Yerel zeminin dinamik özelliklerini tespit etmek için arazide birbirini kesen iki doğrultuda MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) testi yapılmıştır. Öncelikle jeofonlar, Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda, 4 m aralıklarla, 100 m boyunca serilmiş, serim hattının başında, ortasında ve sonunda darbeler oluşturularak zeminin kayma dalgası hızı (V_s) profili elde edilmiştir. Ardından test, Güneybatı-Kuzeydoğu doğrultusunda tekrarlanmıştır. Kayma dalgası hızının derinlikle değişimi Şekil 1b'de sunulmuştur. İki doğrultuda gerçekleştirilen ölçümlerin birbirine benzer olduğu, yüzeydeki kayma dalgası hızının yaklaşık 289.5 m/s olduğu görülmektedir.

3. SAHA DENEYLERİ

3.1. Deney Düzenegi

Gerek kolay mobilizasyonu gerek geniş frekans (f) aralığı nedeniyle, saha titreşim deneylerinde mobil sismik sarsıcılar kullanılmaya başlanmıştır (Huang vd., 2021; Toygar vd., 2022; 2024). Bu çalışmada; bir kamyonetin arkasına yerleştirilmiş, servo-elektrik kontrol ünitesine bağlı bir motor ve ağırlık plakalarından oluşan, 0-225 Hz aralığında yaklaşık 26.7 kN'luk bir santrifüj kuvveti uygulayabilen bir sarsıcı kullanılmıştır.

Farklı ülkelerin standartları incelendiğinde insanları etkileyen titreşimlerin çoğunlukla 1-80 Hz aralığında olduğu (Kowalska-Koczwara ve Stypula, 2016) görülmüş, bu nedenle sahada 10-80 Hz aralığında, her bir deneyde titreşim frekansı 10 Hz arttırılarak sürekli titreşimler oluşturulmuştur. Her bir deneyde yaklaşık 15-20 s boyunca oluşturulan titreşimlerin genlikleri, belirli noktalara yerleştirilmiş (Şekil 2), yüksek hassasiyetli ivmeölçerler ile ölçülmüştür. Bu ivme sensörleri, -2 g ile + 2 g aralığında 10^{-5} g hassasiyetle zemindeki titreşimlerin genliklerini ölçebilmektedir. 8 noktaya yerleştirilmiş ivmeölçerler, bir dinamik veri toplama sistemine bağlanmıştır. Deneyler sırasında yapılan ölçümler, gerçek zamanlı olarak 2 kHz örnekleme hızıyla bir bilgisayarda kaydedilmiştir.



Şekil 2. Deney düzenleri



Atık kauçuk yonga dalga bariyerinin titreşim yalıtım performansını niceliksel olarak belirleyebilmek için öncelikle serbest sahada titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak mobil sismik sarsıcı ve ivmeölçerler, Şekil 2'de belirtilen 1. deney düzeninde yerleştirilmiş, 10-80 Hz aralığında 10 Hz aralıklarla oluşturulan titreşimlerin genlikleri bu gözlem noktalarında ölçülmüştür (Şekil 3). Ardından, kaynak-bariyer arası mesafenin titreşim yalıtımına etkisini belirleyebilmek için mobil sarsıcı ve ilk üç sensörün yeri Şekil 2'deki 2. deney düzenine göre değiştirilmiş, titreşim deneyleri tekrarlanmıştır.



Şekil 3. Serbest saha titreşim deneyleri

3.2. Dalga Bariyeri

Mevcut çalışmada, 22 mm rendeden geçirilmiş, yoğunluğu 400 kg/m^3 olan kauçuk yongalar kullanılmıştır. Arazide 3 m derinliğinde, 75 cm genişliğinde, 15 m uzunluğunda bir hendek kazılmış, hendeğin içi atık kauçuk yongalarla doldurulmuştur. Ardından, saha titreşim deneyleri, 1. ve 2. deney düzenlerinde dalga bariyeri için tekrarlanmıştır.



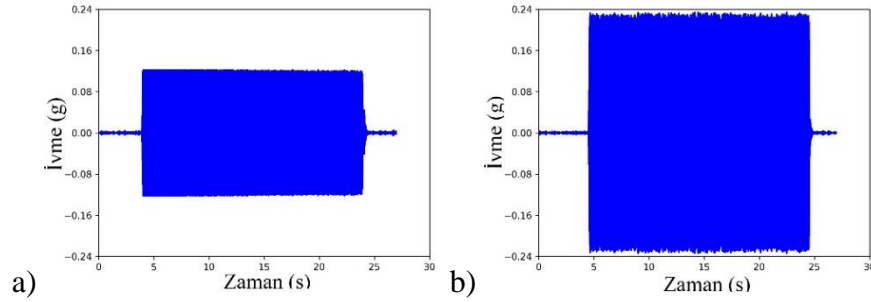
Şekil 4. Atık kauçuk yonga dalga bariyeri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Saha deneylerinde, Şekil 2'de gösterilen noktalarda, ivme-zaman kayıtları elde edilmiştir. Her ne kadar titreşimler belirli frekanslarda oluşturulsa da saha deneylerinde meydana gelebilecek gürültüyü engellemek için ivme kayıtları, hedeflenen frekansa göre ± 2 Hz hassasiyetinde bir Butterworth (1930) filtresi kullanılarak filtrelenmiştir. Örneğin 30 Hz'de yapılan deneylerde alt sınır 28 Hz, üst sınır 32 Hz olacak bir bant geçiren filtre kullanılmıştır. Arazide gürültü olup olmadığını kontrol etmek için serbest saha koşullarında, herhangi bir titreşim yaratılmadan ivme ölçümleri alınmış, mobil sismik sarsıcının rölantide çalışırken 20 Hz'de titreşim yaydığı tespit edilmiştir. 20 Hz'de yapılan deneylerde mobil sismik sarsıcının



yaydığı gürültü filtrelenemediği için bu frekansta yapılan deneyler, değerlendirilmeye alınmamıştır.



Şekil 5. Serbest saha deneylerinde 2. deney düzeninde #1 no'lu gözlem noktasında elde edilen ivme-zaman kaydı a) 30 Hz b) 50 Hz

Saha titreşim deneyleri, frekans kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmiş, her bir frekansta aynı genliklerde titreşimler oluşturulmuştur. Ancak farklı frekanslarda, aynı genlikte titreşimlerin sahada oluşturulması oldukça zordur. Örneğin, Şekil 5'te, serbest saha deneylerinde, 2. deney düzeninde, #1 no'lu sensörde, 30 Hz'de ve 50 Hz'de yapılan deneylerde kaydedilen ivme-zaman kayıtları sunulmuştur. 30 Hz'de maksimum yer ivmesi yaklaşık 0.12 g iken 50 Hz'de 0.24 g'dir. Veriyi standartlaştırmak için öncelikle tüm gözlem noktalarında elde edilen ivme kayıtları gürültüye karşı filtrelendikten sonra her bir kayıttaki maksimum yer ivmesi belirlenmiştir. Ardından, her bir testte elde edilen maksimum yer ivmeleri, ilk gözlem noktasında elde edilen maksimum yer ivmesine göre normalize edilmiştir. Böylelikle tüm deneylerde ilk gözlem noktasında normalize ivme değeri 1 olmuş, diğer noktadaki normalize ivme değerlerinin karşılaştırılabilmesi sağlanmıştır. Son gözlem noktasında (#8) tespit edilen maksimum yer ivmelerinin, yaklaşık 10^{-6} g mertebelerinde olduğu görülmüştür. Bu değerler, sensörlerin tespit edebileceği alt sınır değerlerinin altında olduğu için bu noktada elde edilen sonuçlar, değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 1. Titreşim azalım oranı

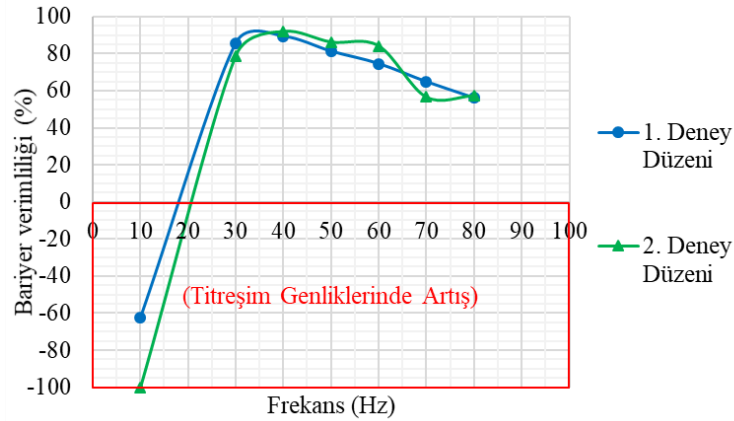
Frekans (Hz)	1. Deney Düzeni				2. Deney Düzeni			
	#4	#5	#6	#7	#4	#5	#6	#7
10	2,89	1,46	1,19	0,94	3,55	1,62	1,42	1,81
30	0,06	0,10	0,11	0,31	0,06	0,17	0,25	0,37
40	0,09	0,09	0,10	0,14	0,12	0,06	0,10	0,05
50	0,13	0,11	0,23	0,28	0,08	0,09	0,21	0,18
60	0,12	0,10	0,32	0,47	0,03	0,09	0,11	0,41
70	0,15	0,20	0,43	0,63	0,50	0,25	0,31	0,67
80	0,22	0,31	0,29	0,93	0,25	0,36	0,32	0,79

Dalga bariyerinin titreşim yalıtım performansını niceliksel olarak belirlemek için aynı parametrelerle yapılmış deneylerde; dalga bariyeri varken elde edilen normalize ivme değerleri, serbest saha deneylerinde aynı noktada elde edilen değerlerle oranlanarak bir "titreşim azalım oranı" tanımlanmıştır (Woods, 1968; Alzawi ve El Naggari, 2011). Titreşim azalım oranının 1'den küçük olması titreşim yalıtımı, 1'den büyük olması ise titreşimlerin dalga bariyeri varken arttığı anlamına gelir. Titreşim yalıtımı, dalga bariyerinin arkasındaki



alandan sağlanmaya çalışıldığı için titreşim azalım oranı #4, #5, #6 ve #7 gözlem noktalarında, 2 deney düzeninde, 10-80 Hz arasındaki frekanslarda hesaplanmış, Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1’de görüldüğü üzere 10 Hz’de titreşim azalım oranları 1’den büyüktür. Bu durum, 10 Hz’de dalga bariyerinin titreşim yalıtımı sağlayamadığı anlamına gelir. Titreşim kaynakları ve özellikleri incelendiğinde, titreşimlerin çoğunlukla yüzeydeki kaynaklardan ve Rayleigh dalgası olarak yayıldığı görülmektedir. Bu nedenle çoğu titreşim yalıtımı çalışmasında, bariyerlerin geometrik özellikleri, Rayleigh dalga boyuna göre normalize edilerek değerlendirilir (Woods, 1968). 10 Hz gibi düşük bir frekansta dalga bariyerinin derinliğinin Rayleigh dalgasının boyuna oranla oldukça az olduğu, bu nedenle dalga bariyerinin bu frekansta derinlik açısından oldukça sık kalması nedeniyle titreşim yalıtımı elde edilemediği değerlendirilmiştir. Titreşim azalım oranlarının gözlem noktalarına göre değişimi incelendiğinde, genellikle #4 ve #5 noktalarında titreşim azalım oranının daha düşük olduğu, bariyerden uzaklaşıldıkça titreşim azalım oranının arttığı yani yalıtım verimliliğinin azaldığı görülmektedir. Özetle, dalga bariyerine yakın noktalarda daha iyi bir titreşim yalıtımı elde edilmiştir. Dalga bariyerinin genel yalıtım verimliliğini incelemek için her bir deneydeki ortalama titreşim azalım oranı hesaplanmış, titreşimlerin serbest saha deneylerine göre ne kadar azalıp arttığı yüzdesel olarak tespit edilerek bariyer verimliliği belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Bariyer verimliliğinin titreşim frekansına göre değişimi

Şekil 6 incelendiğinde, 10 Hz’de titreşimlerin genliklerinin arttığı ancak 30-80 Hz aralığında titreşimlerin ortalama % 56 ile %91 aralığında azaldığı gözlemlenmiştir. Kaynak-bariyer arası mesafenin değişiminin yalıtım performansına pek bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

5. SONUÇ

Atık kauçuk yonga dalga bariyerlerinin titreşim yalıtım performansı tam ölçekli saha deneyleriyle incelenmiştir. Bu dalga bariyeri, 10 Hz gibi düşük frekanslarda bir titreşim yalıtımı sağlayamasa da 30-80 Hz aralığında titreşimlerin genliklerinin % 56 ile % 91 aralığında azalmasını sağlamış, titreşim problemlerinde kullanılacak iyi bir alternatif olduğunu ortaya koymuştur. Bariyere yakın noktalarda daha iyi bir yalıtım elde edilirken kaynak-bariyer arası mesafenin yalıtım verimliliğine bir etkisi saptanmamıştır. Elde edilen



sonuçlar, saha titreşim deneylerinin yapıldığı sahaya özgü olup bariyer tasarımından önce saha deneylerinin yapılması önerilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 119M613 proje numarasıyla desteklenmiştir. Destek ve katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Ahmad, S. ve Al-Hussaini, T.M. (1991), "Simplified Design for Vibration Screening by Open and In-Filled Trenches", ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol 117 (1), 67-88.
- Alzawi, A. ve El Naggar, M.H. (2011), "Full Scale Experimental Study on Vibration Scattering Using Open and In-Filled (Geofoam) Wave Barriers", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol 31 (3), 306-317.
- Andersen, L., ve Nielsen, S.R.K. (2005), "Reduction of Ground Vibration by Means of Barriers or Soil Improvement Along a Railway Track", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol 25 (7-10), 701-716.
- Barkan, D.D. (1962), "Dynamics of bases and foundations", McGraw-Hill.
- Beskos, D.E., Dasgupta, B. ve Vardoulakis, I.G. (1986), "Vibration Isolation Using Open or Filled Trenches Part I: 2-D Homogeneous Soil", Computational Mechanics, Vol 1 43-63.
- Buonsanti, M., Cirianni, F., Leonardi, G., Santini, A. ve Scopelliti, F. (2009), "Mitigation of Railway Traffic Induced Vibrations: The Influence of Barriers in Elastic Half-Space", Advances in Acoustics and Vibration, Vol 2009, 956263.
- Butterworth, S. (1930), "On the Theory of Filter Amplifiers", Experimental Wireless & The Wireless Engineer, Vol 7, 536-541.
- Chew, J.H. ve Leong, E.C. (2019), "Field and Numerical Modelling of Sand-Rubber Mixtures Vibration Barrier", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol 125, 105740.
- Comina, C. ve Foti, S. (2007), "Surface Wave Tests for Vibration Mitigation Studies", ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol 133 (10), 1320-1324.
- Çelebi, E., Firat, S., Beyhan, G., Çankaya, İ., Vural, İ. ve Kirtel, O. (2009), "Field Experiments on Wave Propagation and Vibration Isolation by Using Wave Barriers", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol 29 (5), 824-833.
- Dasgupta, B., Beskos, D.E. ve Vardoulakis, I.G. (1990), "Vibration Isolation Using Open or Filled Trenches Part 2: 3D Homogeneous Soil", Computational Mechanics, Vol 6, 129-142.
- Dijckmans, A., Ekblad, A., Smekal, A., Degrande, G. ve Lombaert, G. (2016), "Efficacy of a Sheetpile Wall as a Wave Barrier for Railway Induced Ground Vibration", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol 84, 55-69.
- Hassoun, M.M. (2018), "An Experimental Study on Reducing the Ground Borne Vibrations Using Rubber Chips Barriers", Yüksek Lisans Tezi, Thesis, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla.
- Huang, H.W., Zhang, B., Wang, J., Meng, F.Y., Nakshatrala, K.B., Mo, Y.L. ve Stokoe, K.H. (2021), "Experimental Study on Wave Isolation Performance Of Periodic Barriers", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol 114, 106602.



- Jauhari, N., Hedge, A. ve Chakraborty, P. (2023), "Full Scale Field Studies for Assessing the Vibration Isolation Performance of Single and Dual Trenches", *Transportation Geotechnics*, Vol 39, 100932.
- Kattis, S.E., Polyzos, D. ve Beskos, D.E. (1999), "Modelling Of Pile Wave Barriers By Effective Trenches And Their Screening Effectiveness", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol 18 (1), 1-10.
- Kowalska-Koczwara, A. ve Stypula, K. (2016), "Assessment of the Vibration Influence on Humans in Buildings in the Standards of Different Countries", *Procedia Engineering*, Vol 161, 970-974.
- Mahdavisefat, E., Salehzadeh, H. ve Heshmati, A.A. (2018), "Full-Scale Experimental Study on Screening Effectiveness of SRM-Filled Trench Barriers", *Geotechnique*, Vol 68 (10), 869-882.
- Manohar, D.R. ve Anbazhagan, P. (2021), "Shear Strength Characteristics Of Geosynthetic Reinforced Rubber-Sand Mixtures", *Geotextile and Geomembranes*, Vol 49 (4), 910-920.
- Rizvi, S.M.F., Wang, K., Jalal, F.E. ve Tu, Y. (2023), "Evaluation of Open and Filled (TDA and RSM) Trenches Efficacy on Vibration Screening Caused by Transient Loads", *Transportation Geotechnics*, Vol 35, 100700.
- Saikia, A. ve Das, U.K. (2014), "Analysis and Design of Open Trench Barriers in Screening Steady-State Surface Vibrations", *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, Vol 13, 545-554.
- Sitharam, T.G., Sebastian, R. ve Fazil, F. (2018), "Vibration Isolation of Buildings Housed with Sensitive Equipment Using Open Trenches-Case Study and Numerical Simulations", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol 115, 344-351.
- Toygar, O. ve Ülgen, D. (2021), "A Full-Scale Field Study on Mitigation of Environmental Ground Vibrations by Using Open Trenches", *Building and Environment*, Vol 203, 108070.
- Toygar, O., Ülgen, D. ve Burak, N.B. (2022), "Assessing Vibration Isolation Performance of Single and Coupled Wave Barriers Through Field Experiments", *Construction and Building Materials*, Vol 354, 129156.
- Toygar, O., Ülgen, D. ve Burak, N.B. (2024), "Experimental Study on Reutilization of Waste Rubber Chips with Sheet-piles as a Coupled-Wave Barrier to Reduce Ground-Borne Vibrations", *Journal of Vibration Engineering & Technologies*.
- Ülgen, D. ve Toygar, O. (2015), "Screening Effectiveness of Open and In-Filled Wave Barriers: A Full-Scale Experimental Study", *Construction and Building Materials*, Vol 86: 12-20.
- Woods, R.D. (1968), "Screening of Surface Wave in Soils", *ASCE Journal of Soil Mechanics and Foundation*, Vol 94 (4): 951-979.
- Zedler, L., Wang, S. ve Formela, K. (2022), "Ground Tire Rubber Functionalization as a Promising Approach for the Production of Sustainable Adsorbents of Environmental Pollutants", *Science of the Total Environment*, Vol 836, 155636.
- Zoccali, P., Cantisani, G. ve Loprencipe, G. (2015), "Ground-Vibrations Induced By Trains: Filled Trenches Mitigation Capacity And Length Influence", *Construction and Building Materials*, Vol 74, 1-8.

