

# Dinamik Yükleme Şartlarında Kum/Lastik Karışımlarının Rijitlik ve Sönüm Özelliklerinin İncelenmesi

Seyfettin Umut UMU<sup>a,\*</sup>, Derviş Volkan OKUR<sup>b</sup>, Gülgün YILMAZ<sup>a</sup>, Seyhan FIRAT<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Porsuk Meslek Yüksekokulu, Anadolu Üniversitesi, 26140 Eskişehir

<sup>b</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 26480 Eskişehir

<sup>c</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500 Ankara

## ÖZET

Atık lastik kullanımı inşaat mühendisliğinde son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Geoteknik mühendisliği açısından atık lastikler genellikle dolgu ve diğer toprak yapı projelerinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kum/lastik karışımlarının dinamik yükleme koşulları altında, düşük-orta birim deformasyon seviyelerindeki malzeme davranışının sonuçları sunulmuştur. Farklı kum/lastik karışım yüzdelerinde bir dizi burulmalı rezonans kolon deneyi yapılmıştır. Aynı zamanda enerji emme kapasitesi, başlangıç kayma modülü, sönüm oranı karakteristikleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Tekrarlı yükleme altındaki gerilme-şekil değiştirme davranışını tanımlamak için ölçümler farklı çevre basıncı ve birim kayma deformasyon seviyeleri için yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar kum/lastik karışımlarının kayma dayanımı ve sönüm oranını arttırdığı ve geoteknik uygulamalar için ilgi çekici bir malzeme olduğunu göstermiştir. Kayma dayanımındaki bu yükselmenin, atık lastik tozu ile ISO temiz kum numunesinin adezyonunun daha iyi olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Farklı yüzdelerdeki lastik kum karışımlarına ait modül azalım ve sönüm oranı eğrileri verilmiştir. Lastiğin yüksek sönümleme kapasitesi, kum/lastik karışımlarının titreşimleri azaltmada sönümleme sistemi olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Temiz kum, atık lastik, rezonant kolon, tekrarlı dayanım, sönüm oranı

## A Study on The Stiffness and Damping Characteristics of Sand/Rubber Mixtures Under Dynamic Loading Conditions

### ABSTRACT

Using waste rubber in sand mixes has become a common practice in civil engineering. In terms of geotechnical engineering recycled rubber generally used in engineered fills and other earthwork projects. This paper presents the results of a study on the dynamic characteristics of sand/rubber mixtures under dynamic loading conditions at low and middle shear strain level. Also, the information about the energy absorption capability, initial shear modulus and damping ratio of the mixtures are obtained. A number of torsional resonant column tests were conducted on sand/rubber mixtures with different particles sizes and contents to evaluate the shear modulus and damping values. To simulate the stress-strain response of cyclic-induced loading, the measurements were taken for different confining pressures and strain levels. The results of the study indicated that rubber modification increases stiffness and damping ratio, making it a very attractive material for geotechnical applications. The modulus reduction curves, shear modulus and damping ratio graphics are presented with the percentage of rubber and sand mixtures. Rubber's high damping capacity permits consideration of rubber/soil mixtures as part of a damping system to reduce vibration. It's found out that mixtures of sand and rubber can be modeled using conventional principles of mechanics with some revisions.

**Keywords:** Clean sand, waste rubber, resonant column test, cyclic strength, damping ratio

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Atık lastik parçacıkları, lastiklerin mekanik yollarla parçalanmasıyla elde edilmektedir. Bu parçacıklar çeşitli dane çaplarında ve boylarda olmaktadır. Zeminlerin, atık lastik malzemeler ile karıştırılması çevreye ve ekonomiye katkı sağlayacak fikirleri de doğurmaktadır. Atık lastiklerin geoteknik mühendisliğinde kullanılması çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Geoteknik mühendis-

liği açısından atık lastik, yollarda, istinat duvarlarında ve geri dolgu malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yollar inşa edilirken karşılaşılan en büyük problemler, duraylılık ve oturma durumlarıdır. Çeşitli hafif malzemeler yol dolgularında kullanılarak, dolgu malzemesinin hafifletilmesi amaçlanmaktadır. Bunlara ek olarak atık lastik parçacıklarının dolgu ve istinat duvarlarında kullanılması da hafiflik açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Sadece zemin numunesi ile doldurulmuş duvar dolgu ağırlığı, zemin ve atık lastik malzeme karışımlarına göre daha ağır olmaktadır. Bundan farklı olarak belirli oranlarda olan zemin ve atık lastik

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: suumu@anadolu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2014.17 Sayı 1, 13-21

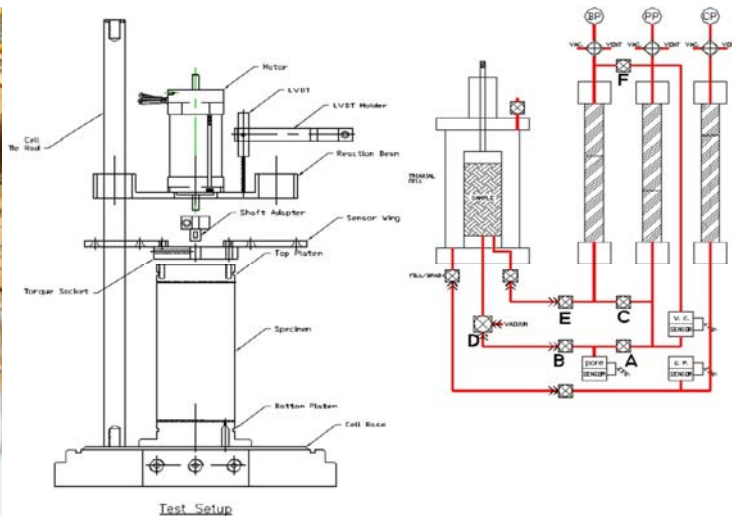
malzemesi karışımlarının kayma dayanımları göreceli olarak sadece zemin numunesine göre daha yüksektir. Bu özellikleri sayesinde, dolgu duvarların genişlikleri azalmakta ve yerden tasarruf edilmektedir. Ayrıca atık lastik malzemeler drenaj konusunda da avantajlar sağlamak ve duraylılık problemlerine yol açan yanıl top- rak basınçlarının artmasını da engellemektedir [1-2-3-4-5-6-7-8].

Özellikle sismik analizlerde kullanılan “maksimum kayma modülü”,  $G_{maks}$ , lineer ve lineer olmayan elastik zemin davranışını tanımlamada önemli bir parametre olup, arazi veya laboratuvar ortamda kayma dalgası hızından hesaplanmaktadır [9-10]. Bu amaçla kullanılan laboratuvar deneylerinden bir tanesi Rezonant kolon (RC) deney sistemidir. Deney sistemi, prizmatik çubuklarda dalga yayılım teorisine dayalı çalışmaktadır. Zeminlerin dinamik özellikleri bu deney sistemi genellikle  $10^{-6}$  ile  $10^{-3}$  birim kayma deformasyon genliği veya farklı sistem eklentileri ile geniş aralıktaki genliklerde belirlenebilir. Deney tekniği 1930-1940 yılları arasında ilk olarak Japonya’da [11-12-13], kullanılmaya başlanmıştır. Deney sistemlerinin donanım tipine göre, numunenin, boyuna yönde ya da burulmalı titreşim uygulanarak, basınç dalga hızı,  $v_c$  ve kayma dalga hızı,  $v_s$  ölçülebilmektedir [14-15-16].

Çalışmanın birinci kısmında herhangi bir karışım uygulanmayan %100 ISO temiz kum numunesine ait dinamik davranışlar rezonant kolon deney aleti kullanılarak belirlenmiştir. İkinci kısımda ise, toz olarak hazırlanmış atık lastik malzemeler ile ISO temiz kum numunesi ağırlıkça farklı oranlarda (%5, 10, 15) karıştırılmıştır. Bu karışımların, burulmalı rezonant kolon deney aleti kullanılarak düşük-orta deformasyon düzeyindeki davranışları incelenmiştir.

## 2. DENEY SİSTEMİ VE YÖNTEM (TEST SYSTEM AND METHOD)

Deneylerde kullandığımız test cihazı (Şekil 1.) bir tarafı tutulu diğer tarafı serbest olan bir sistemdir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan test sistemi ve en kesiti

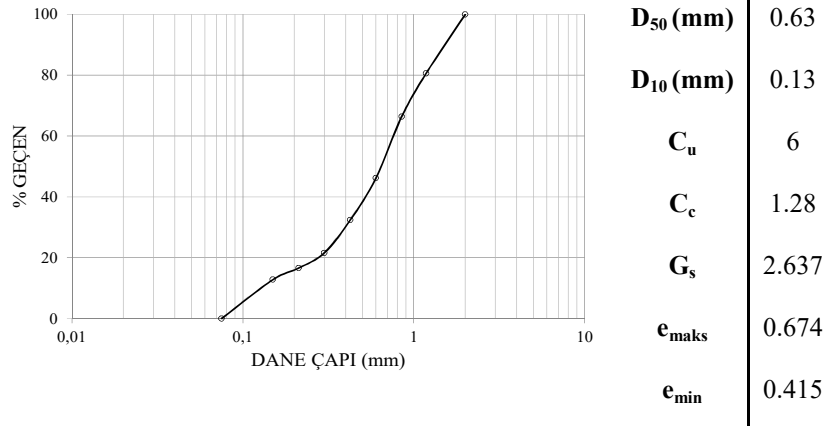
Zemin numunesi aşağı bölümden tutulu üst bölümden ise serbesttir ve yük buradan uygulanmaktadır. Bu sistemde ilk önce zemin numunesi konsolide edilmekte ve daha sonra üst başlıktaki motor aracılığıyla burulmaya maruz bırakılmaktadır. Yükleme frekansı kademeli olarak, maksimum tepki (deformasyon genliği) bulunana kadar artırılmaktadır. Deformasyon genliğinin maksimum olduğu noktadaki en düşük frekans, zemin numunesinin temel frekansı olarak tanımlanmaktadır. Yani bu noktada deformasyonlar sonsuza uzamaktadır. Temel frekans (rezonans frekansı), numune mukavemetinin, numune geometrisinin ve rezonant kolon test cihazının bir fonksiyonudur. Malzeme sönümü ise hem serbest titreşimden, hem de yarı güç bant genişliğinden hesaplanır.

### 2.1. Kullanılan Malzemeler ve Numune Hazırlama Süreci (Materials and Preparation)

Deneyisel çalışmalarda, ISO standart kumu kullanılmıştır. ISO kum numunesi ve atık lastikler kullanılarak ağırlıkça farklı oranlarda (%5, 10, 15) karışımlar hazırlanmıştır. Atık lastik malzemeleri toz şeklinde kullanılarak karışımlara katılmıştır. Aşağıda ISO kumuna ait bazı laboratuvar verileri verilmiştir (Tablo 1.). Şekil 2’de, bu çalışmada kullanılan atık lastik toz numunesinin fotoğrafı ve yaklaşık olarak dane çapı verilmiştir. Atık lastik malzemesinin yaklaşık olarak Özgül Gravitesi ( $G_s$ ) 0,96 olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada içeriğinde çelik olmayan lastik kullanılmıştır. Deneyler ASTM D4015-87,2000 [17] standardına göre yapılmıştır. Düşük çevre basınçlarından başlanarak ve ilgili çevre basınçlarında elastik parametreler ölçüldükten sonra bir üst basınç seviyesine geçilmiş ve aynı işlemler bu basınç seviyesinde de tekrarlanmıştır.

Rezonant kolon deney sonuçlarının numune hazırlama yöntemlerinden (yağmurlama, sıkıştırma, nemlendirme, ıslak sıkıştırma vb) bağımsız olduğu gözlenmiştir [18].

Tablo 1. ISO temiz kum numunesine ait laboratuvar verileri ve dane dağılımı



200 Nolu Elek &gt; Toz

Şekil 2. Çalışmada kullanılan atık lastik toz numune fotoğrafı

Tablo 2. %100 ISO temiz kumu deney koşulları

M <sub>S</sub>	h <sub>S</sub>	R <sub>S</sub>	V <sub>T</sub>	G <sub>s</sub>	(e <sub>maks</sub> )	(e <sub>min</sub> )	e <sub>int</sub>	Dr	ω
(gr)	(cm)	(cm)	(cm <sup>3</sup> )				(V <sub>v</sub> /V <sub>s</sub> )	%	%
400	11.9-12.0	5	233.66	2.637	0.674	0.415	0.54-0.55	51.59%	0

G<sub>s</sub> = Spesifik gravite; e<sub>maks,min,int</sub> = ISO temiz kuma ait maksimum, minimum ve deney başlangıç koşulları;

Dr = Numune başlangıç sıklığı, ω = numune başlangıç su muhtevası

Deneyler ilk önce karışım olmayan kum numune üzerinde yapılmış ve bu numune referans kabul edilmiştir. Daha sonra ağırlıkça %5,10 ve 15 oranlarında atık lastik toz numunesi kullanılarak ISO kumu ile karıştırılmıştır. Deneyler kuru olarak gerçekleştirilmiştir. Standart kum numunesi ile atık lastik karışımları mekanik yollarla yapılmıştır. Her iki numune bir kap içersine dökülerek spatula yardımıyla elle karıştırılmıştır. Homojen bir görüntü elde edilene kadar karıştırma işlemi devam etmiştir. Daha sonra deney moldu içine serbest düşüş ile yerleştirilmiştir.

Bu numuneler yaklaşık olarak belli bir hacim gözetilerek her seferinde aynı miktarda numune molda konulacak şekilde deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler ile elde edilen sonuçlar referans kabul edilen karışım içermeyen numune deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Tablo 2.'de %100 temiz ISO kumuna ait deney koşulları ve Tablo 3.'de ise karışım numunelere ait oranlar ve deney koşulları verilmiştir.

Tablo 3. Atık lastik karışımı uygulanmış numunelerin deney koşulları

M <sub>top</sub>	h <sub>kolon</sub>	Atık Lastik	Atık Yüzdesi	Atık Yüzdesi	e <sub>şideğer</sub>
(gr)	(cm)	Tipi	%(Ağırlıkça)	%(Hacimce)	
400	12.6-12.8	Toz	5	8.29-8.42	0.50-0.52
400	12.8-12.9	Toz	10	16.45-16.58	0.41-0.42
400	13.1-13.2	Toz	15	24.11-24.30	0.34-0.35

### 3. DENEY SONUÇLARI

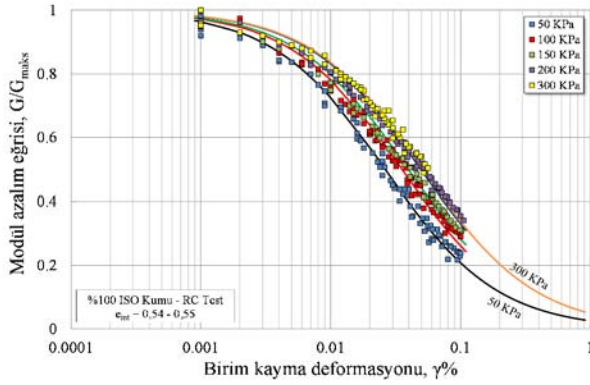
#### (EXPERIMENTAL RESULTS)

İlk kısımda %100 ISO kumuna ait deney sonuçlarına yer verilmiştir. Bu aşamada, ISO kum numunelerine ait maksimum kayma modülü, sönüm oranı ve modül azalım sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak referans kayma deformasyon genlikleri hesaplanmış ve ilgili eğilim çizgileri oluşturulmuştur. Bu referans çizgileri ikinci kısımda kullanılarak kıyaslamalar yapılmıştır.

İkinci kısımda ise, karışım numunelerine ait sonuçlar verilmiştir. %5, 10, 15 düzeyinde karışım numunelerine ait maksimum kayma modülü, sönüm oranı ve modül azalım grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler birinci kısımda bulunan referans ISO kumuna ait eğilim çizgileri ile kıyaslanarak karışımların sonuçlar üzerindeki etkili etkileri incelenmiştir.

### 3.1. %100 ISO Temiz Kumuna Ait Deneysel Sonuçları (%100 ISO Sand Test Results)

Şekil 3'de %100 ISO temiz kuma ait modül azalım verileri ve bunlara ait eğilim çizgileri verilmiştir. Sönüm oranının (Şekil 4a) ve modül azalım eğrisinin, kayma deformasyon genliği ve efektif basınçla değiştiği ve boşluk oranından etkilenmediği bilinmektedir [19]. Kullanılan ISO kumunun maksimum ve minimum boşluk oranlarının birbirine yakın olmasından dolayı sönüm oranının 200 kPa üzerindeki efektif çevre basıncından fazlası etkilenmediği görülmüştür. Bu durum Şekil 3'de verilen modül azalım eğrisinde de görülmektedir.

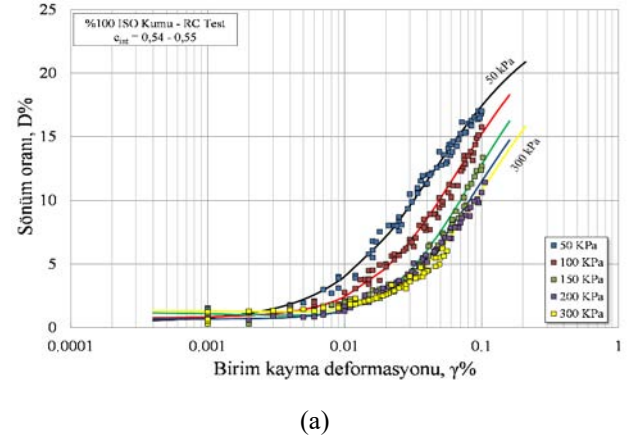


Şekil 3. %100 ISO temiz kuma ait modül azalım verileri ve eğilim çizgileri

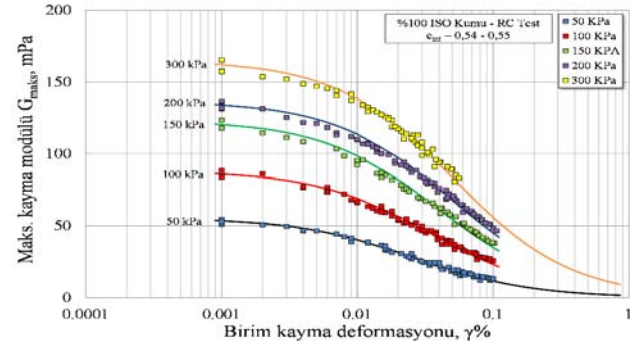
Şekil 4b.'de %100 ISO temiz kuma ait maksimum kayma modülünün çevre basıncı, kayma deformasyon genliği ile değişimi verilmiştir. 200 kPa üzerindeki efektif çevre basınç değerlerindeki kayma modülündeki artış miktarı azdır. Yani 50 – 100 – 150 kPa değerlerinde ve 0,001 % kayma deformasyon genliğindeki maksimum kayma modülü değerleri sırasıyla yaklaşık olarak 50 – 90 – 130 MPa iken, bu oran 200 – 300 kPa arasında yaklaşık 140 – 160 MPa değerindedir. Bunun nedeninin, ISO temiz kum numunesinin minimum ve maksimum boşluk oranlarının birbirine yakın olmasından ve çevre basıncı arttıkça artık yeteri düzeyde sıkılık elde edilmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 4b incelendiğinde maksimum kayma modülünün kayma deformasyonu arttıkça arttığı görülmüştür. Örneğin 0,001 % kayma deformasyon genliğinden 0,1 % genliğine gelinirken, 50 kPa efektif çevre basıncında maksimum kayma modülü 50 MPa değerinden yaklaşık olarak 15 MPa değerine düşerken, bu düşüş 300 kPa efektif çevre basıncında yaklaşık olarak 160 MPa değerinden 60 MPa değerine düşmektedir. Yani buradan kayma deformasyon

miktarının maksimum kayma modülünün üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4. %100 ISO temiz kuma ait (a)sönüm oranı, (b) maksimum kayma modülü verileri ve eğilim çizgileri

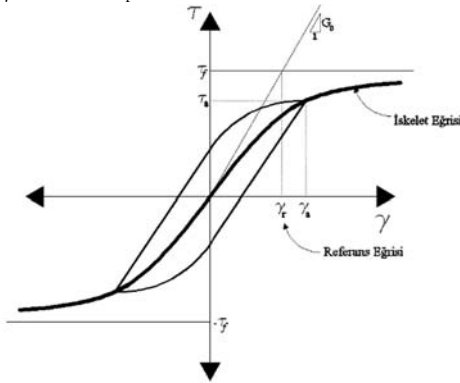
### 3.2. Referans Kayma Deformasyonu (Reference Shear Strain Amplitude)

Şekil 3. ve 4.'de çeşitli eğilim çizgileri görülmektedir. Bu eğilim çizgilerinin elde edilebilmesi için çeşitli modeller mevcuttur. Literatürde tanımlanan hiperbolik model bunlardan birisidir [19]. Bu noktada referans kayma deformasyon miktarının tanımlanması ve hiperbolik modele uyarlanması gerekmektedir.

Şekil 3. incelendiğinde, modül azalımı ve sönüm oranı, efektif basınç ve kayma deformasyon miktarı ile değişmektedir. Ancak kumlarda modül azalımı ve sönüm oranı malzeme boşluk oranından bağımsızdır. Hiperbolik modelde, zeminlerin gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin büyük ve küçük deformasyon miktarlarında iki teğet çizgi arasında sınırlandırıldığı kabul etmek mantıklı bir yaklaşımdır. Şekil 5. incelendiğinde bu gerilme-şekil değiştirme eğrisi ve sınırlar görülmektedir. Küçük deformasyon miktarındaki ( $\gamma \% < 10^{-5}$ )  $G_0$  olarak gösterilen teğet, küçük deformasyondaki elastik modülü, büyük deformasyondaki ( $\gamma \% > 10^{-3}$ ) yatay teğet ise malzeme dayanımı denen gerilmenin üst limitini  $\tau_f$  göstermektedir. İki teğet çizgi arasında kalan gerilme-

şekil değiştirme eğrisi diferansiyel formda aşağıdaki şekilde yazılabilir [19].

$$\frac{d\tau}{d\gamma} = G_0 \cdot 1 - \frac{\tau}{\tau_r}^n \quad (1)$$



Şekil 5. Referans şekil değiştirme değerinin tanımı [19]

Eşitlik 1,  $n = 1$  ve  $\gamma = 0$  ve buna bağlı olarak  $\tau = 0$  sınır koşulları için entegre edilirse yeni bir parametrenin olduğu aşağıdaki eşitlik elde edilir. Burada  $\gamma_r$ , parametresi referans kayma deformasyon miktarını göstermektedir ve Eşitlik 3'de tarif edilmiştir.

$$\gamma = \frac{\gamma_r}{n-1} \frac{1}{1 - \tau/\tau_r}^{n-1} - 1 \quad (2)$$

Referans deformasyonu, elastik olarak davranan herhangi bir zemin numunesinin göçme anında ulaştığı deformasyon değeridir ve Şekil 5'de gösterilmiştir. Gerilme-şekil değiştirme eğrisi hiperbolik model için Eşitlik 2'de  $n = 2$  değerinden elde edilebilir (Eşitlik 4).

$$\gamma_r = \frac{\tau_r}{G_0} \quad (3)$$

$$\tau = \frac{G_0 \gamma}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_r}} \quad (4)$$

Eşitlik 4, çeşitli zeminler için gerilme-şekil değiştirme eğrilerini tanımlamada yaygın olarak ve hiperbolik model aynı zamanda, zemin plastisitesinde katılma kuralının tanımlanmasında kullanılmaktadır [20]. Tekrarlı yüklemelerde sekant modülünü belirlemek için Eşitlik 4'den aşağıdaki formül elde edilebilir [19].

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \gamma_a/\gamma_r}, \quad G = \frac{\tau_a}{\gamma_a} \quad (5)$$

$$\frac{G_{maks}}{2} \rightarrow \gamma_r \quad (6)$$

Referans deformasyon miktarının belirlenmesi modül azalım eğrisinin hesaplanmasında ve hiperbolik model de hesaplanabilen sönüm oranının belirlenmesinde önemli bir değerdir. Referans deformasyon miktarının hiperbolik modelle bağlantılı olarak belirlenmesinde pratik ve uygun bir yöntem olarak maksimum kayma modülünün yarı değerine karşılık gelen deformasyon değeri alınabilir (Eşitlik 6) [21-22].

Bu çalışmada Eşitlik 5 kullanılarak Şekil 3 ve 4'de gösterilen grafiklerdeki eğilim çizgileri çizilmiştir. Bu eğilim çizgilerine ait referans kayma deformasyon genlikleri ve verilere uygunlukları aşağıdaki tablo 4'de verilmiştir. Tablo 4.'de ilgili efektif çevre basıncına

karşılık gelen maksimum kayma modülü değeri ve yarıarı verilmiştir

Tablo 4. %100 ISO temiz kuma ait referans kayma deformasyonları ve verilere uygunlukları

$\sigma'_o$ kPa	$G_{maks}$ MPa	$\frac{G_{maks}}{2}$	% $\gamma_r$ Veri	% $\gamma_r$ Hesaplanan	$R^2$ G/ $G_{maks}$
50	55.64	27.82	0.026	0.02626	0.9899
100	88.48	44.24	0.034	0.03541	0.9873
150	123.41	61.71	0.041	0.03955	0.9493
200	136.58	68.29	0.05	0.04932	0.9844
300	165.23	82.62	0.052	0.0512	0.9793

Daha sonra deneysel çalışma verileri arasından yarı modüle karşılık gelen kayma deformasyon miktarı okunmuştur. Ayrıca regresyon analizi yapılarak Eşitlik 5'den yararlanılmış ve hesaplamalar sonucunda elde edilen kayma deformasyon miktarı referans kayma deformasyonu olarak kabul edilmiştir. Bu deformasyon düzeyine karşılık gelen modül azalım değerlerine ait eğilim çizgileri oluşturulmuş ve verilere uygunlukları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda oldukça başarılı sonuçlara ulaşılmıştır. Hiperbolik modelle oluşturulan modül azalımına karşılık gelen eğilim çizgileri verileri tanımlamada yeterlidir. Modül azalım eğilim çizgileri oluşturulduktan sonra geri hesaplama yapılarak maksimum kayma modülü değerleri hesaplanmıştır. Burada ilgili çevre basıncına karşılık gelen maksimum kayma modülü değeri, azalım eğrisindeki değer ile çarpılmıştır. Bunun sonucunda maksimum kayma modülü eğilim çizgileri çizilmiştir.

Modül azalım değerleri kullanılarak şekil 3'de verilen sönüm oranlarına ait eğilim çizgileri oluşturulmuştur. Burada ise  $D = F(G/G_0)$  ilişkisi kullanılmıştır. İkinci derece Eşitliklerden faydalanılarak sönüm oranlarının eğilim çizgileri oluşturulmuştur. Tablo 5'de sönüm oranına ait eğilim çizgilerinin deneye dayalı formülleri ve verilere olan uygunlukları verilmiştir. Gerek modül azalım eğrisi için hiperbolik modelle kurulan eğilim çizgileri, gerekse modül azalımından elde edilen sönüm oranına ait eğilim çizgileri verilere uygunluk açısından iyi performans sergilemişlerdir. Bundan sonra atık lastik malzemelere ait verilerle kıyaslama yapılırken bu eğilim çizgilerinden faydalanılmıştır.

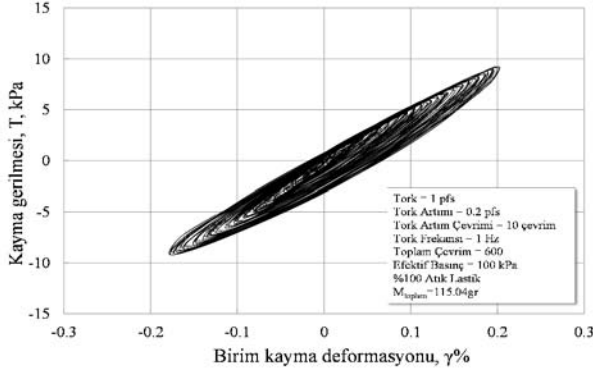
Tablo 5. %100 ISO temiz kumun sönüm oranına ait deneysel formüller ve uygunlukları

$\sigma'_o$ kPa	$F\left(\frac{G}{G_0}\right)$	$R^2$ %D
50	$16.29(G/G_0)^2 - 41.1(G/G_0) + 25.25$	0.9897
100	$23.03(G/G_0)^2 - 48.6(G/G_0) + 26.32$	0.9801
150	$30.19(G/G_0)^2 - 54.88(G/G_0) + 25.9$	0.9857
200	$24.15(G/G_0)^2 - 48.22(G/G_0) + 24.74$	0.9928
300	$26.82(G/G_0)^2 - 50.02(G/G_0) + 24.58$	0.9877

### 3.3. %100 Lastik RCTS Deneysel Sonuçları (%100 Rubber RCTS Test Results)

Bu çalışmada kullanılan atık lastik toz numunesi üzerinde burulmalı kayma deneyi yapılarak, dinamik etkiler altında davranışları ayrıca incelenmiştir. Bu aşamada deney numunesi tamamen atık lastik

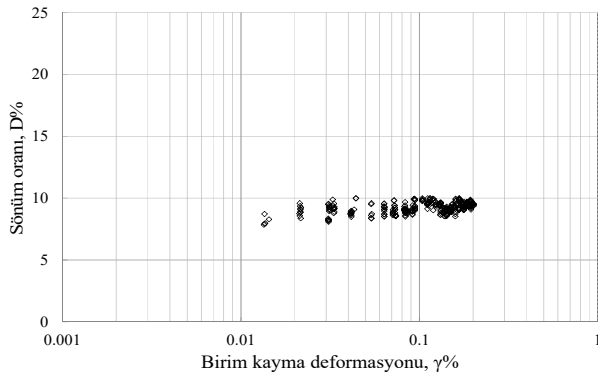
malzemeden oluşturulmuştur. Aşağıda deney sonuçları ile ilgili grafikler gösterilmiştir.



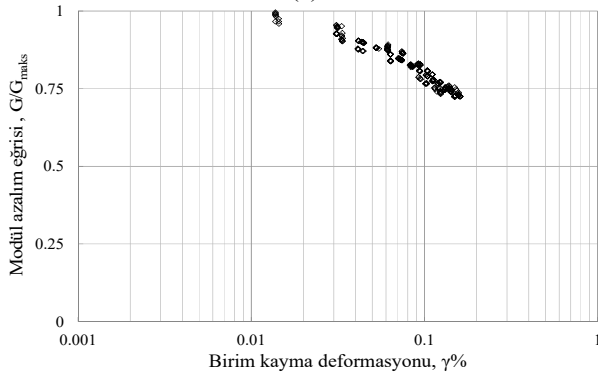
Şekil 6. %100 atık lastik tozuna ait burulmalı kesme deneyi histeresiz ilmeği

Şekil 6'da %100 atık lastik malzemesine ait burulmalı kesme (TS) deneyinden elde edilen histeresiz döngüsü gösterilmiştir. Buradan malzemenin elastik özelliği anlaşılabilir. Tork artımından ve çevrim sayısından etkilenmeden belirli bir döngüde hareket ettiği görülmektedir.

Şekil 7a'da %100 atık lastik malzemesinin sönüm oranı verileri görülmektedir. Buradan sönüm özelliğinin tork artımından etkilenmediği ve genel olarak 9-10% civarında bir sönüm oranına sahip olduğu ve elastik özellik gösterdiği anlaşılmaktadır.



(a)



(b)

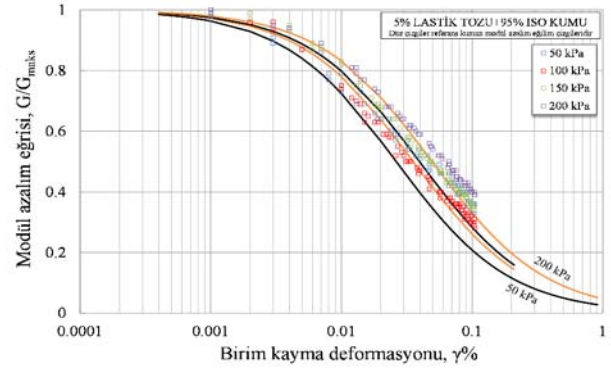
Şekil 7. %100 atık lastik malzemesinin (a) sönüm oranı, (b) modül azalım eğrisi

Ayrıca Şekil 7b'de ise modül azalım verileri görülmektedir. Bu grafikten modül azalımının da çevrimle fazla değişmediği, deformasyon miktarı 0,01

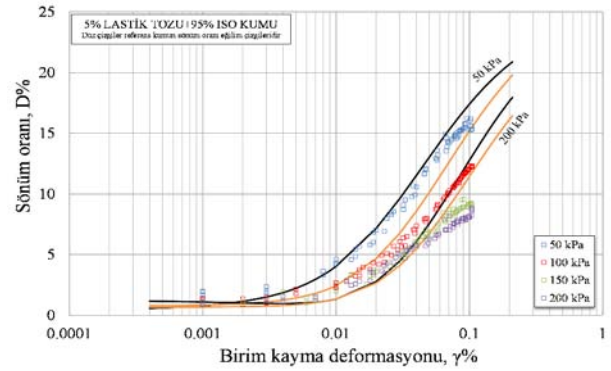
%'den on kat artarak 0,1 %'e geldiğinde modül azalım verisinin 1'den 0,75'e düştüğü görülmektedir.

### 3.4. %5 Atık Lastik Tozu Karışım Sonuçları (%5 Rubber-Sand Mixtures Test Results)

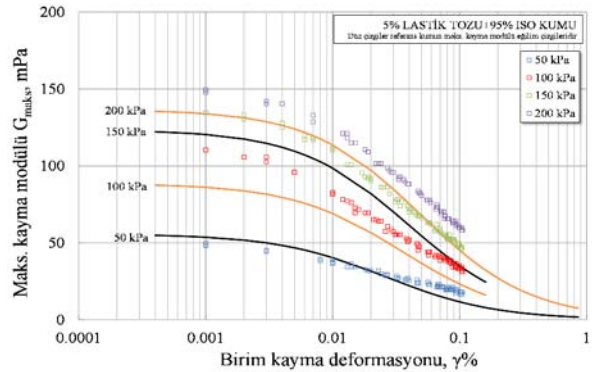
Şekil 8(a) incelendiğinde modül azalımının toz karışımında referans eğilim çizgilerinden daha farklı olduğu görülmektedir. Özellikle 50 kPa çevre basıncına karşılık gelen modül azalımı 100 kPa'lık çevre basıncına karşılık gelen verilere denk hareket sergilemiştir. 150 kPa çevre basıncında ise 200 kPa'lık çevre basıncına eş değer veriler elde edilmiştir. Kayma deformasyonunun 0,01 % değerinden sonra referans eğilim çizgilerine göre fark artmıştır.



(a)



(b)



(c)

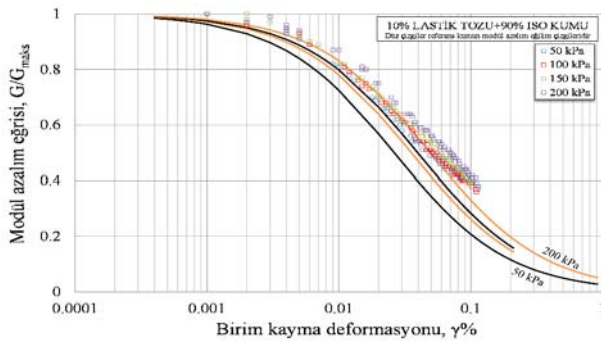
Şekil 8. %5 atık lastik tozu + %95 ISO kumu karışım sonucunun grafikleri (a)modül azalımı, (b)sönüm oranı, (c)maksimum kayma modülü

Sönüm oranının verildiği Şekil 8(b)'de, 50 kPa efektif çevre basıncına karşılık gelen veriler referans eğilim çizgisine uygun hareket ederken, çevre basıncı arttığında atık lastik malzemenin etkileri görülmektedir. Özellikle 150 ve 200 kPa çevre basınçlarında kayma deformasyon miktarı arttıkça daha yatay sönüm verileri alınmıştır.

Atık lastik tozu ve ISO temiz kum karışım numunelerine ait maksimum kayma modülü verilerinin referans eğilim çizgileri ile kıyaslandığı Şekil 8(c) incelendiğinde, karışım numunelerinin maksimum kayma modülü değerlerinin referans eğilim çizgilerine göre oldukça yüksek değerler aldığı görülmektedir. Düşük çevre basıncı değerinde yakınsak hareket eden veriler, 100 kPa ve üzerindeki efektif çevre basıncı değerlerinde oldukça yüksek sonuçlar vermiştir. 100 kPa çevre basıncında, düşük kayma deformasyon miktarında referans verilere göre %50 oranında yüksek değerler elde edilmiştir. Yine çevre basıncı arttıkça bu değerler referans verilere göre 150 ve 200 kPa'da %10-15 arasında yüksek sonuçlara sahiptir. Kayma deformasyonu arttıkça bu oranlar referans eğilim çizgilerine göre korunmuştur.

### 3.5. %10 Atık Lastik Tozu Karışım Sonuçları (%10 Rubber-Sand Mixtures Test Results)

Şekil 9'da %10'luk karışıma ait modül azalım eğrisi görülmektedir. %5 karışım oranına göre (Şekil 8a) kıyaslandığında modül azalımının daha elastik özellikler gösterdiği anlaşılmaktadır. Bundan farklı olarak modül azalımı her çevre basıncı için artık birbirine çok yakın değerlere gelmiştir. Burada efektif çevre basıncının etkisinin yavaş yavaş yok olduğu görülmektedir.

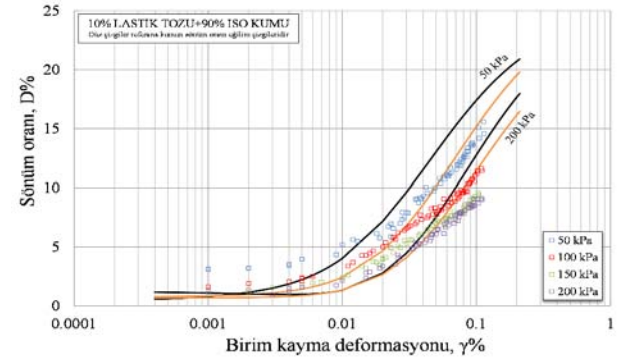


Şekil 9. %10 atık lastik tozu +%90 ISO kumu karışım sonucu modül azalım eğrisi

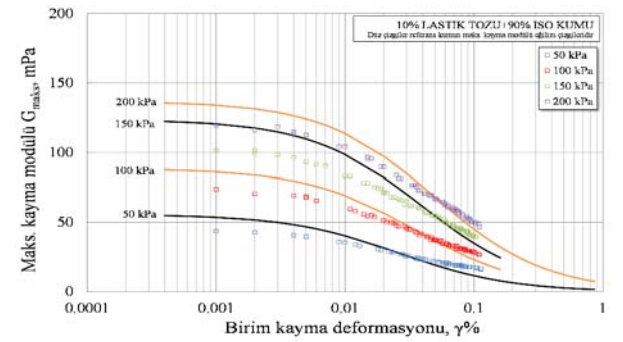
Ağırlıkça %10 atık lastik tozu ve ISO temiz kum karışımına ait sönüm verileri ve kıyaslamaları Şekil 10(a)'da verilmiştir. Sönüm oranı değerleri incelendiğinde düşük çevre basıncında (50 kPa) ve %0,001 – 0,01 arasındaki kayma deformasyon genliklerinde yatay ve %4-6 arasında veriler elde edilmiştir. Çevre basıncı arttıkça düşük deformasyon düzeyinde referans verilere göre benzer hareketler görülmüştür. Buna karşın %0,01 kayma deformasyonundan sonra sönüm oranı değerleri yatay bir seyir izlemiştir. Atık lastiğe ait sönüm oranı verileri

(Şekil 7a) incelendiğinde karışım oranı malzemenin davranışını diğer etmenlere göre fazlaca etkilemektedir.

Şekil 10(b)'de ise maksimum kayma modülü değerleri verilmiştir. %5 karışım oranına ait grafiklere göre %10'luk karışıma ait kayma modülü değerlerinde %20 oranında bir düşüş meydana gelmiştir. Ancak referans verilerle kıyaslandığında bu fark %10 düzeyindedir. Her ne kadar atık lastik oranı artmış olsa da maksimum kayma modülü değeri %10'luk karışımdan fazlaca etkilenmemiştir. Özellikle artan deformasyonlarla referans eğilim çizgilerine yakın seyrettiği söylenebilir.



(a)

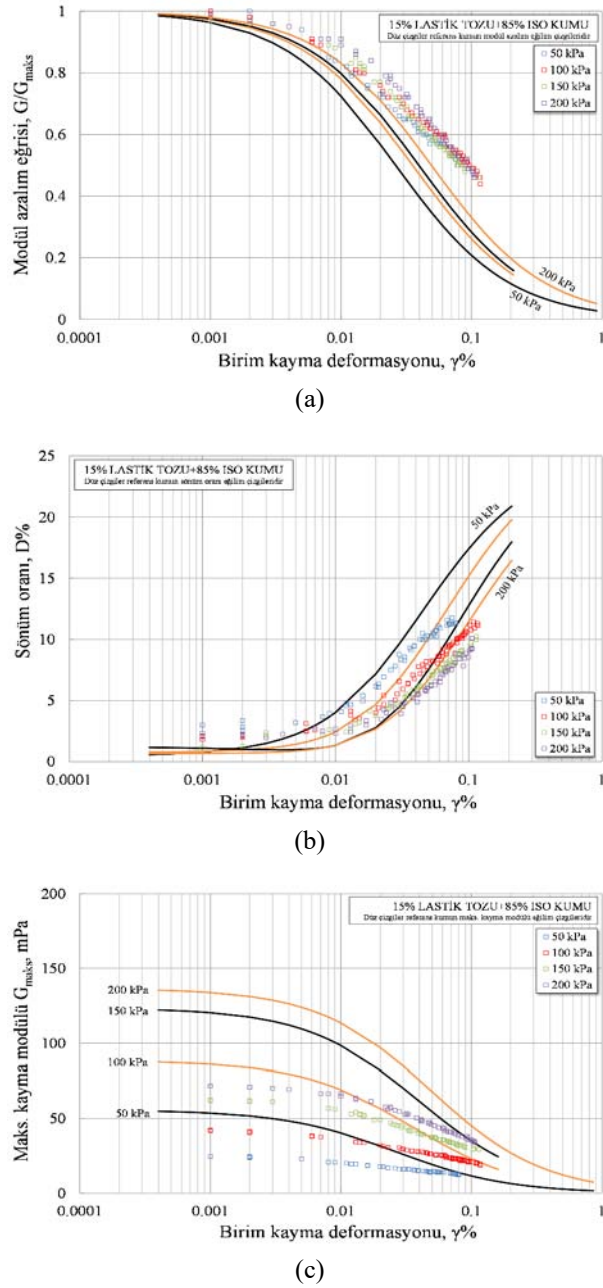


(b)

Şekil 10. %10 atık lastik tozu +%90 ISO kumu karışım sonucu grafikleri, (a)sönüm oranı, (b) maksimum kayma modülü

### 3.6. %15 Atık Lastik Tozu Karışım Sonuçları (%15 Rubber-Sand Mixtures Test Results)

%15'lik karışıma ait modül azalım eğrileri kıyaslamalı olarak Şekil 11(a)'da görülmektedir. Modül azalımı incelendiğinde, karışıma katılan atık lastik malzemenin özelliklerini göstermektedir. Çevre basıncının artması veya kayma deformasyon genliğinin yükselmesi sonuçlar üzerinde fazlaca etkili değildir. Özellikle yüksek kayma deformasyon genliğinde tüm çevre basınçlarında aynı değerler alınmıştır. Şekil 11(b)'de de sönüm oranı verileri görülmektedir. Sönüm oranı verileri de tıpkı modül azalım verileri gibi elastik malzemenin verilerine benzer hareket sergilemektedir. Malzeme karışım miktarı sonuçlar üzerinde diğer etmenlere göre etkilidir



Şekil 9 - %15 atık lastik tozu +%85 ISO kumu karışım sonucun grafikleri (a)modül azalımı, (b)sönüm oranı, (c)maksimum kayma modülü

Maksimum kayma modülü değerleri de tıpkı modül azalım ve sönüm oranı verileri gibi malzeme karışım oranından etkilenmiştir. Şekil 11(c) incelendiğinde referans verilere göre tüm efektif çevre basıncı değerlerinde %50 oranında düşük değerler elde edilmiştir. Kayma deformasyonu arttıkça fark oran azalsa da yeterli miktarda dayanım elde edilememiştir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, ISO standart kumu ile atık lastik malzemeler karıştırılarak düşük-orta deformasyon düzeyindeki davranışları araştırılmıştır. Rezonans kolon test cihazının kullanıldığı çalışmada, ISO standart kumu temiz olarak deneylere katılmış ve sonuçları

değerlendirilmiştir. İkinci aşamada ise, atık lastik tozu ve ISO kumu karıştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Atık lastik tozu, karışımlara toplam ağırlık sabit tutularak ağırlıkça oranı değiştirilerek katılmıştır. %5 düzeyindeki karışımlarda maksimum kayma modülünün, referans ISO temiz kum sonuçlarına göre oldukça yüksek değerler aldığı görülmüştür. Sönüm oranı ve genel olarak modül azalım eğrisi bu karışım oranından fazlaca etkilenmemiştir. Karışım oranı %10 olan numunelerde maksimum kayma modülünde düşük düzeyde olmak kaydıyla genel bir düşüş söz konusudur. Buna karşın sönüm oranı ve modül azalım eğrileri elastik hareket sergilemişlerdir. %15 oranına gelindiğinde ISO temiz kumu olan ana malzeme, sonuçlar üzerindeki etkisini yitirmiştir. Maksimum kayma modülü oldukça düşük değerlere gerilemiştir. Modül azalımı ve sönüm oranı verileri elastik hareket etmektedir. Karışım oranı %5-10 aralığında olduğunda, maksimum kayma modülüne oldukça olumlu sonuçları olduğu görülmüştür. Bu aralıkta, atık lastik tozunun kumun boşluklarını daha iyi doldurduğu ve kum daneleri ile daha iyi adezyona girdiği düşünülmektedir. Karışım miktarı arttıkça, karışıma ait sonuçların elastik malzeme olan atık lastik tozuna ait sonuçlara daha yaklaştığı, dayanımın oldukça düştüğü, ana malzeme olan ISO temiz kumun sonuçlara etkisinin azaldığı görülmüştür.

#### 5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Proje No:200915006 ile desteklenmiştir.

#### 6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Humphrey, D.N., "Investigation of Exothermic Reaction in Tire Shred Fill Located on SR 100 in Ilwaco, Washington", Consulting Report to FHWA, US Department of Transportation, 1996.
- Boscher, P.J., Edil, T.B., Kuraoka, S., "Design of Highway Embankments Using Tire Chips", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 123 (4):295-304, 1997.
- 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.
- 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.
- Zornberg, J.G., Alexandre, R.C., Viratjandr, C., "Behaviour of Tire Shred-Sand Mixtures", Canadian Geotechnical Journal, 41 (2):227-241, 2004.
- Akbulut, S., Hasiloglu, A.S., Pamukcu S. "Data generation for shear modulus and damping ratio in reinforced sands using adaptive neuro-fuzzy inference system", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 24, Issue 11, December 2004, Pages 805-814, ISSN 0267
- Senetakis K., Anastasiadis A., Pitolakis K., (2012). "Dynamic properties of dry sand/rubber (SRM)



- and gravel/rubber(GRM) mixtures in a wide range of shearing strain amplitudes”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 33, pp.38-53.
8. Keskin S., Laman M., “Atık Lastik - Kum Karışımlarının Kayma Mukavemetinin Laboratuvar Deneyleriyle İncelenmesi”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27(2), ss. 27-35, Aralık 2012
  9. Richart F.E., Hall J.R., Woods R.D.(1970). “Vibration of soils and foundations”. Prentice Hall.
  10. Youn J., Choo Y., Kim D.,(2008), “Measurement Of Small-Strain Shear Modulus Gmax Of Dry And Saturated Sands By Bender Element, Resonant Column And Torsional Shear Tests”, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 45, 1426-1438.
  11. Ishimoto M., Iida K., (1937), “Determination of elastic constants of soils by means of vibration methods. Part 2. Modulus of rigidity and Poisson's ratio”, Bulletin of Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Vol. 15, pp. 67-85.
  12. Iida, K.,(1938) “The velocity of elastic waves in sands”, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Tokyo Imperial University, pp. 131-144.
  13. Iida, K.,(1940) “On the elastic properties of soil, particularly in relation to its water content”, Bulletin of Earthquake Research Institute Tokyo Imperial University, Vol. 18, 1940, pp. 657-690.
  14. Wilson S.D., Dietrich R.J.,(1960), “Effect of consolidation pressure on elastic and strength properties of clay”. Proc. Asce Res. Conf. on Shear Strength of Cohesive Soils, University of Colorado:419-35, discussion:1086-92.
  15. Hardin, B.O., Richart, F.E., (1963), “Elastic wave velocities in granular soils”. Journal of Soil Mechanics and Foundations, ASCE, 89, SM1, 33-65.
  16. Hall, J.R., Richart, F.E., 1963. “Dissipation of elastic wave energy in granular soils”. Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 89, SM6, pp. 27-56.
  17. ASTM D4015, 2000, “Standard Test Methods for Modulus and Damping of Soils by Resonant-Column Method”.
  18. Tatsuoka F., Iwasaki T., Yoshida S., Fukushima S., Sudo H.,(1979), “Shear Modulus And Damping By Drained Tests On Clean Sand Specimens Reconstituted By Various Methods”, Japanese Society of Soil Mechanics And Foundation Engineering, Vol. 19, 39-54.
  19. Ishihara, K.,1996, “Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics”, Oxford Science Pb.
  20. Vermeer, P.A. (1978). “A double hardening model for sand”, Geotechnique, 28, pp. 413-33
  21. Cascante, G., Santamarina, C., "Low Strain Measurements Using Random Noise Excitation," Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 20, No. 1, March 1997, pp. 29-39.
  22. Ishihara, K., 1986, "Evaluation of Soil Properties for Use in Earthquake Response Analysis," Geomechanical Modeling in Engineering Practice, R. Dungar and J. A. Studer, Eds., Balkema, Rotterdam.