



Makale / Research Paper

Düşük Deformasyon Seviyelerinde Kumların Dinamik Özelliklerinin Resonant Kolon Deneyi Yardımıyla Belirlenmesi

Ersin GÜLER^{1*}, Kamil Bekir AFACAN²

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sivrihisar MYO, İnşaat Teknolojisi Bölümü, Eskişehir/TÜRKİYE
²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir/TÜRKİYE
kafacan@ogu.edu.tr

Received/Geliş: 21.01.2020

Accepted/Kabul: 12.04.2020

Öz: Zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesi geoteknik mühendisleri için büyük önem arz etmektedir. Depremler nedeniyle zeminlerin gerilme-deformasyon ve mukavemet özellikleri değişmektedir. Bunun sonucunda, zeminlerde deformasyonlar meydana gelmekte ve yapısal hasarlar oluşmaktadır. Deprem bölgelerinde inşa edilecek yapılar için zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesi büyük bir önem taşımaktadır. Meydana gelebilecek hasarların en aza indirilmesi için zeminlerin tekrarlı yükler altında göstereceği davranışın bilinmesi ve tasarımında dikkate alınması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda farklı kum numunelerinin dinamik özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Çalışmada literatürde çokça kullanılan Toyoura kumu ile araziden elde edilen örselenmiş killi kum numunelerinin küçük deformasyon seviyelerindeki dinamik davranışını belirlemek amacıyla rezonant kolon deney sistemi kullanılarak deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda farklı özelliklerdeki numunelere ait kayma modülü ve sönüm oranı eğrileri elde edilmiş olup farklılıklar ve benzerlikler tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Rezonant kolon, Dinamik özellikler, Kayma modülü, Sönüm oranı.

Evaluation of Dynamic Properties of Sands with Low Deformation Levels Determined by Resonant Column Test

Abstract: Determining the dynamic properties of soils is important for geotechnical engineers. Stress-deformation and strength properties of soils change due to earthquakes. As a result, deformations occur in the soil and structural damage develop. Determining the dynamic properties of soils is of great importance for the structures to be built in earthquake zones. In order to minimize the possible damages, the behavior of the soils under cyclic loads should be determined and taken into consideration in design. For this purpose, different sand samples were tested to understand the dynamic properties of soil. In the study, experiments were carried out using the resonant column test system in order to determine dynamic behavior at the small deformation levels of the clayey sand samples obtained from site with Toyoura sand widely used in the literature. As a result of the experiments, the shear modulus and damping ratio curves of the samples with different properties were obtained and differences and similarities were discussed.

Keywords: Resonant column, Dynamic properties, Shear modulus, Damping ratio.

1. Giriş

Yapıların statik yükler yanında dinamik yükler altındaki performansları tasarım aşamasında büyük önem arz etmektedir. Yapının maruz kalacağı sismik yükler hesaplanırken, temel zeminlerinin tekrarlı yükler altındaki davranışının da bilinmesi elzemdir. Ana kayadan yukarı doğru zemin içinden yüzeye hareket eden sismik dalgalar ya büyütülerek ya da sönümlenerek yüzeye/yapıya iletilirler. Depremler nedeniyle zemin davranışına bağlı olarak meydana gelen davranış büyütmesi

Bu makaleye atf yapmak için

Güler, E., Afacan, K.B., "Düşük Deformasyon Seviyelerinde Kumların Dinamik Özelliklerinin Resonant Kolon Deneyi Yardımıyla Belirlenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7 (2); 572-580.

How to cite this article

Güler, E., Afacan, K.B., "Evaluation of Dynamic Properties of Soils with Low Deformation Levels Determined by Resonant Column Test" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7 (2); 572-580.

yapılarda hasarlar oluşturmakta ve bu hasarların azaltılabilmesi için de zeminlerin dinamik davranışının bilinmesi, gerekli durumlarda ön tedbir alınması tasarım önceliklerindedir. Bu amaçla deprenselliğin bölgesel etkilerini araştıran ve tasarım alanında deprem hareketinin etkileri üzerinde yoğunlaşan bir çok çalışma örnek olarak gösterilebilir. [1-2]. Zeminlerin tekrarlı yükler altında gerilme-deformasyon özelliklerinin bilinmesi için hem saha hem de laboratuvar deneyleri yapılarak dinamik özellikleri incelenmelidir. Zeminlerin dinamik davranışını oluşturan parametrelerin hesaplanması yüzeye iletilecek deprem dalgalarının tahmininde yardımcı olacak dolayısıyla yapıların maruz kalacağı sismik yükler daha gerçekçi modellenebilecek ve yapı elemanları daha güvenli boyutlandırılacaklardır. Bu parametreler: 1) Maksimum kayma modülü- G_{max} ; 2) Normalize edilmiş dinamik kayma modülü G/G_{max} ; ve 3) sönüm oranı D olarak ortaya çıkar ve zeminin dinamik davranışını temsil ederler [3-5].

Zeminlerin dinamik özelliklerini belirlemek üzere farklı deney sistemleri kullanılmaktadır. Literatürde kum ve kil numunelerin küçük deformasyon seviyelerini değerlendirmek üzere pek çok çalışma yapıldığı görülmektedir [6-11]. Zeminlerin küçük deformasyon değerlerindeki kayma modülleri veya değişen rijitliklerinin laboratuvarında hesaplanabilmesi amacıyla Rezonant Kolon (RC) deney sistemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. ASTM D 4015 standartlarına göre yapılan deneyler ile zeminlerin dinamik özellikleri 0.1% - 0.001% arasında birim deformasyon genliğinde hesaplar yapılabilmektedir [12]. Literatürde hem dinamik özelliklerin değerlendirilmesi hem de dinamik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla farklı çalışmalar yapılmıştır [13,14].

Bu çalışmada farklı özelliklere sahip kumların modül azalım eğrileri ve sönüm eğrileri ile zeminlerin dinamik davranışının belirlenmesi amaçlanmıştır. Öncelikle rezonant Kolon (RC) deney sistemi detaylı anlatılmıştır, araziden elde edilen örselenmiş killi kum ile standart kum numunesi aynı deneylere tabi tutulmuş ve değerlendirmelerde bulunulmuştur. Farklı indeks özelliklerine sahip bu numuneler (standart deney kumu ve killi kum) üzerinde literatürde çokça görülen 100 kPa'lık çevre basıncı yerine 150 kPa'lık hücre basıncı altında deneyler yapılmış ve gerilme-deformasyon özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda zeminlerin özelliklerine bağlı olarak modül azalım ile sönüm eğrileri karşılaştırılmış ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Rezonant Kolon Deney Sistemi

Zeminlerin düşük deformasyon seviyelerinde dinamik özelliklerini belirlemek üzere Rezonant Kolon (RC) deney sistemi kullanılmaktadır. Rezonant Kolon cihazın ana prensibi, kapalı silindirik zemin numunesinin tabanını sabit tutup tepeden dikey veya burgusal titreşimle uyarmaktır. Temel rezonans frekansı belirlendikten sonra rezonans frekansı ve titreşim genliği ölçülerek, elastisite teorisi yardımıyla gerinim genliği ve dalga yayılım hızı hesaplanmaktadır. Kayma modülü, hesaplanan hız ve numunenin yoğunluğundan elde edilmektedir [15]. Deney sisteminde numunenin üst kısmındaki dönme açısı proximetre ile ölçülmektedir. Numunenin yerleştirilmesi ve deney sisteminde kullanılan motor, hücrenin çevre basıncı ve geri basınç ekipmanları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Deney sisteminde numunenin yerleştirilmesinin ardından konsolide edilmekte ve üst başlık aracılığıyla burulmaya maruz bırakılmaktadır. Yükleme frekansı, tork kuvveti ile kademeli olarak artırılarak birim kayma deformasyon genliğinin maksimum olduğu noktadaki frekans rezonans frekansı olarak tanımlanmaktadır. Rezonans frekansa karşılık gelen genlik değeri A_{maks} olarak ifade edilmektedir. Yapılan deneylerden elde edilen örnek bir grafik Şekil 2'de sunulmuştur. Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak sönüm değerleri hesaplanabilmektedir. Sönüm değerleri, $A=0.707*A_{maks}$ noktasına karşılık gelen frekanslar olan yarı güç bant noktalarına karşılık gelen frekanslar yardımıyla Eşitlik 1'deki formül kullanılarak tahmin edilebilmektedir [16-18].

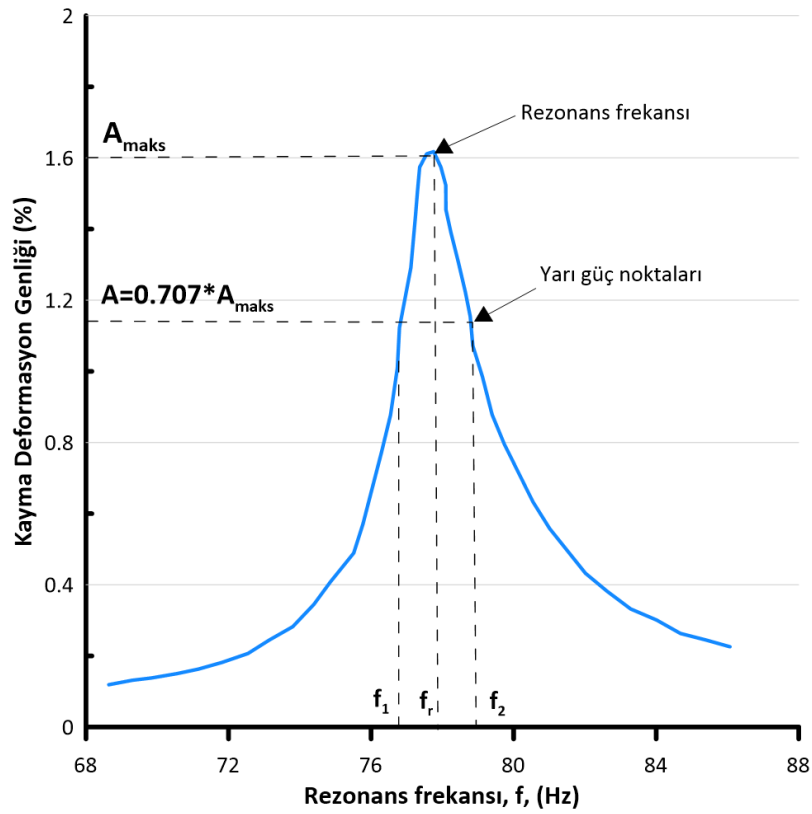


Şekil 1. Rezonant kolon deney sistemi

$$D = \frac{f_2 - f_1}{2f_r} \quad (1)$$

Rezonant kolon deney sisteminde kayma modülü (G_{maks}), zeminin yoğunluğu ve kayma dalgası hızına bağlı olarak elde edilmektedir ve Eşitlik 2’de sunulmuştur.

$$G_{maks} = \rho V_s^2 \quad (2)$$



Şekil 2. Rezonans frekansının değişiminin gösterimi

Deney sisteminde birim şekil değiştirme ise numunenin boyutları ve numunenin deney sisteminde merkezden bükülme değerine bağlı olarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 3).

$$\gamma = \frac{r_{eq}\theta_{maks}}{h} \quad (3)$$

2.2. Çalışmada Kullanılan Numuneler ve Deney Programı

Bu çalışmada literatürde kullanılan Toyoura (kötü derecelenmiş standart deney kumu) kumu ile plastisitenin etkisini görmek amacıyla örselenmiş olarak elde edilen killi kum numunesi üzerinde rezonant kolon deneyleri yapılmış ve dinamik davranışları incelenmiştir. Kullanılan numunelere ait özellikler Tablo 1'de gösterilmiştir.

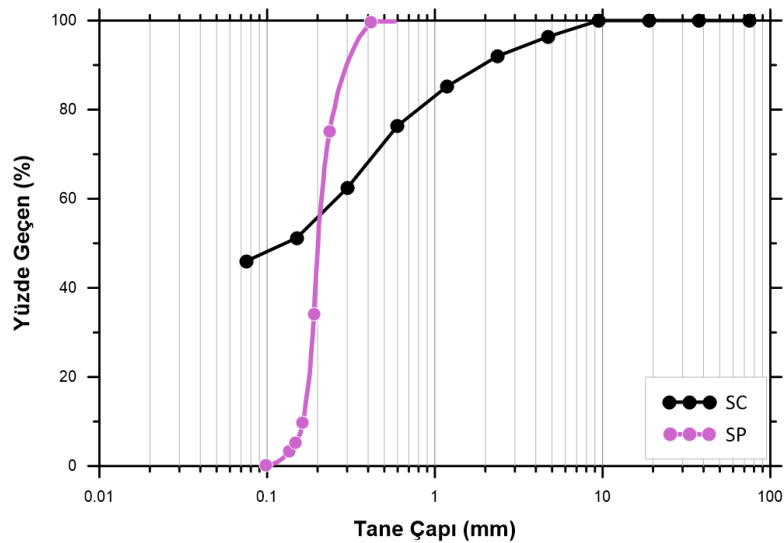
Tablo 1. Çalışmada kullanılan numunelere ait özellikler

Numune	Zemin Sınıfı	Özgül Ağırlık	PI (%)	D _r (%)	İnce Dane Oranı (%)
Toyourea Kumu	SP	2.65	-	40	-
Killi Kum	SC	2.60	12	-	45

Çalışmada kullanılan standart Toyoura kumu %40 sıklıkta hazırlanmış ve deney sisteminde kalıba yerleştirilmiştir. Vakum yardımıyla numunenin sabit kalması sağlanmıştır. Ayrıca sahadan elde edilen örselenmiş killi kum numunesi ise üzerindeki kompaksiyon deneyi yapılmış ve $w_{opt}=\%24.3$ ve $\rho_{d,max}=1.38 \text{ Mg/m}^3$ olarak bulunmuştur.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan numuneler



Şekil 4. Kullanılan numunelerin granülometre eğrileri

Numune optimum su muhtevasında istenilen sıklık ve hacimde, literatürde görülen numune hazırlama tekniklerinin dışında, otomatik kriko sistemiyle tek tabaka halinde sıkıştırılarak yüklemeye hazır hale getirilmiştir. Tek tabaka halinde numune sıkıştırılmasının amacı tabakalanmanın etkilerinin ortadan kaldırılması ve daha homojen bir numune elde edilmesidir. Deneylerde kullanılan numuneler ve granülometre eğrileri sırasıyla Şekil 3 ve 4'te gösterilmiştir.

Şekilde görüldüğü üzere Toyoura kumu daha küçük bir aralıkta üniform bir dağılım göstermiş olup, killi kum örneği daha geniş bir aralığa yayılmış daha iyi derecelenmiştir.

Çalışmada Toyoura ve killi kum numunesi üzerinde hücre basıncını sabit tutarak (150kPa) rezonant kolon deneyleri yapılmış ve küçük deformasyon seviyelerinde dinamik davranış elde edilmiştir. Daha sonra literatürde çokça kullanılan standart kum ile ortaya çıkan eğriler ile killi kum numunelerin davranışlarının ne derece farklılaştığının belirlenmesi hedeflenmiştir.

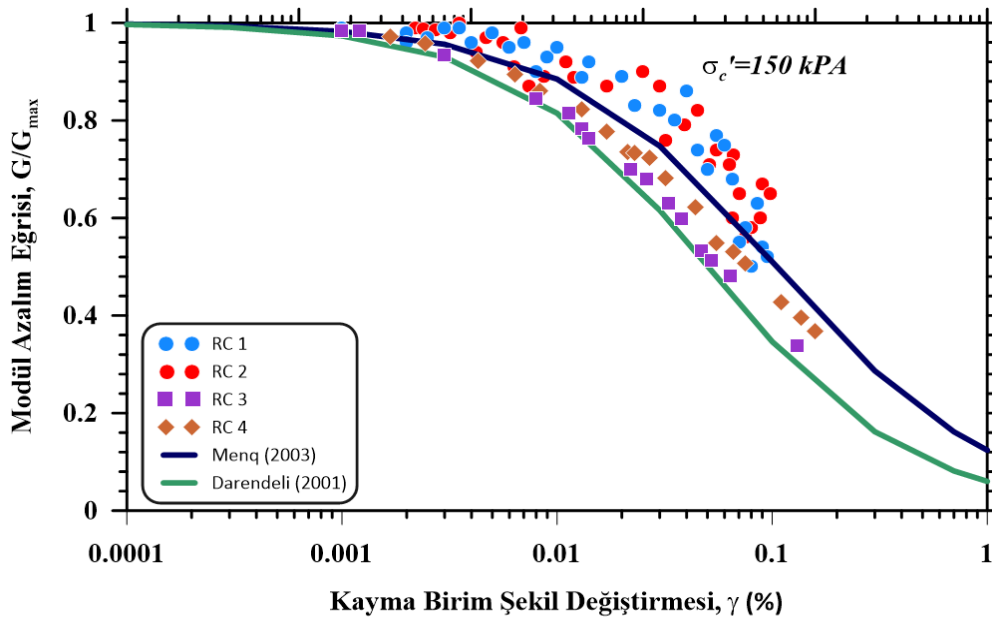
Tablo 2. Deney programı

Numune	Zemin Sınıfı	Program	Çevre basıncı (kPa)	Numune boyutları
Toyoura Kumu	SP	RC-1	150	50x100
		RC-2	150	50x100
Killi Kum	SC	RC-3	150	50x100
		RC-4	150	50x100

Her numune için ikişer deneyden toplamda 4 adet deney farklı kayma birim şekil değiştirmelerinde yapılmıştır. Silindirik numune çapı 50 mm ve boyu 100 mm olarak modellenmiştir. Deney sisteminde tüm numunelerde eşit olacak şekilde motor kuvvetinin kademeli artırılması sonucunda her bir numunenin rezonans frekansı elde edilmiş ve deneyler tamamlanmıştır.

4. Bulgular ve Tartışma

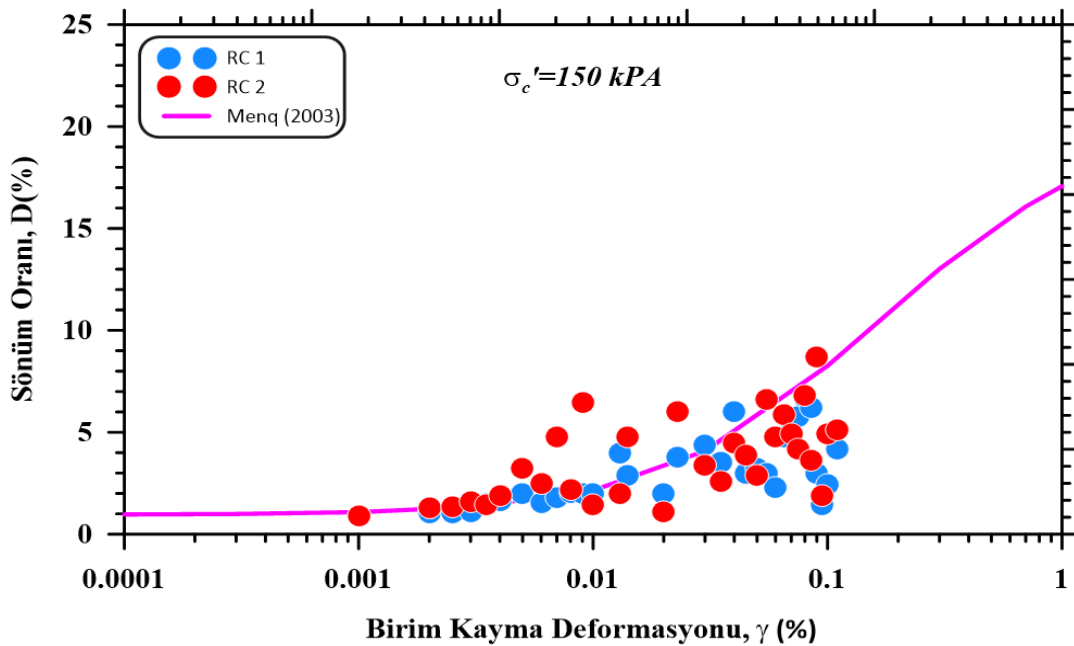
Yapılan deneyler ve data değerlendirmesi sonucunda farklı zemin türlerine ait numunelerin kayma modülleri ve sönüm oranları elde edilmiştir.



Şekil 5. Numunelerin kayma modülü-birim kayma deformasyon eğrileri

Küçük deformasyon seviyelerinde gerçekleşen deneylerde kayma modülü-birim kayma deformasyonu ve sönüm oranı-birim kayma deformasyon eğrileri elde edilmiştir. Farklı yüklenme

seviyeleri için kayma modülü-birim kayma deformasyon değerleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Deney sonucu elde edilen datayı doğrulayabilmek amacıyla literatürde çokça kullanılan iki adet farklı model seçilmiştir: Tüm zeminler için dinamik davranış modelleri öneren Darendeli (2001) [5] ve kumlu ve çakıllı zeminler için ise Menq (2003) [19]. Darendeli (2001) zemin dinamik davranışını plastisite indisi, sükunetteki toprak basıncı katsayısı, efektif gerilme ve aşırı konsolide oranı gibi katsayılara, Menq (2003) ise modellerini üniformluk katsayısı, %50 geçen yüzdeye karşılık gelen dane çapı gibi granülometri özelliklerine dayandırmıştır. Malzemelerin indeks özellikleri ve gerilme koşulları kullanılarak bu numuneler için elde edilen grafikler referans amacıyla Şekil 5'te sunulmuştur. Literatürde daha birçok eğri sunulmuş olup uygulamada kullanımının yaygın olması sebebiyle bu iki model kullanılmıştır. İki teorik model de birçok arazi ve labotuar deneylerine dayanmaktadır. Darendeli, 2001 modeli tüm zeminler için genel bir formülizasyon önerirken, Menq, 2003 modeli sadece iri daneli zeminler için önerilmiştir. Modellerde kullanılan formüllerin çokluğu sebebiyle çalışmada gösterilmemiştir. Dinamik deneylerin daha doğru değerler verdiği aralıklar farklılık göstermektedir. Literatürde rezonant kolon deneyi için üst sınır %0.1-%0.3 arası belirlenmiş olup deneyler %0.1 kayma birim şekil değiştirme değerinde sonlandırılmıştır. Standart deney kumu olan Toyoura kumu numunelerine ait deney sonuçları incelendiğinde (RC-1 ve RC-2); Menq (2003) [19] tarafından kumlar için önerilen eğri ile karşılaştırılmış ve deney sonuçlarının yine literatür eğrisinin üzerinde kaldığı ve daha yüksek dayanım gösterdiği görülmektedir. Özellikle %0.01-%0.05 birim şekil değiştirme arasında eğri ile deney sonuçlarının arasındaki farkın arttığı belirlenmiştir. Killi kum numunelerine ait deney sonuçları incelendiğinde ise (RC-3 ve RC-4); elde edilen datanın Darendeli (2001) tarafından önerilen eğrinin davranışını genel olarak takip ettiği fakat hemen hemen tüm kayma birim şekil değiştirme değerlerinde eğri üzerinde kaldığı saptanmıştır. Başka bir deyişle %12 plastisiteye sahip killi bir kum numune Darendeli (2001) tarafından önerilen eğriye göre daha fazla rijitlik göstermiştir. Darendeli (2001) tarafından önerilen eğrinin ortalama bir eğri olduğu düşünüldüğünde muhtemelen [5] çalışmasında sunulan datanın üst kısmında yer almış ve ortalama yerine üst sınır eğrisi ile büyük bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Dinamik davranışın temelini oluşturan diğer önemli parametre ise sönüm oranıdır. Yapılan analizler sonucunda kayma modülünün yanında her iki numuneye ait sönümleme oranları da elde edilmiştir. Her çevrim sonucunda elde edilen sönüm değerleri Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.

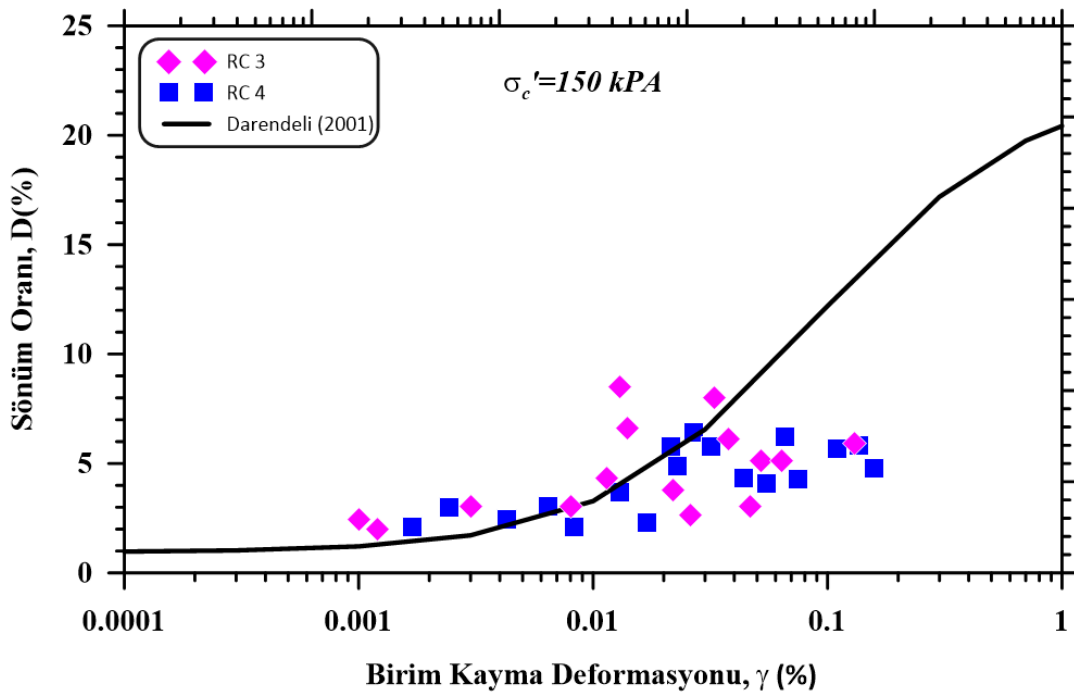


Şekil 6. Toyoura kum numunesine ait sönüm oranı-birim kayma deformasyon değerleri

Sönümlenme davranışının daha iyi yorumlanabilmesi amacıyla sönümlenme eğrileri tek bir grafik yerine 2 grafikte sunulmuştur. Şekil 6’te görüldüğü üzere her iki deney sonucun elde edilen sönümlenme değerlerinin çok düşük deformasyon seviyelerinde (özellikle %0.002-%0.01 arasında) Menq (2003) [19] tarafından önerilen sönüm eğrisinin üzerine düştüğü ve mutlak eşleşmenin gerçekleştiği belirlenmiştir. Daha büyük kayma birim şekil değiştirmelerinde (%0.02 den büyük birim şekil değiştirmeler) literatür eğrisinin davranışını takip etmiş fakat birçok sönüm değeri eğri altında kalarak daha düşük seviyelerde olduğu görülmüştür.

İçeriğinde kil olmasına rağmen baskın karakteri kum olan killi kum numunesi için de literatür eğrisiyle iyi bir uyum saptanmıştır. Toyoura kumunun aksine küçük kayma birim deformasyon seviyelerinde (%0.01 birim şekil değiştirmelerine kadar) yapılan deneylerin her bir çevriminden elde edilen sönüm değerlerinin literatür eğrisinden [5] daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bundan büyük deformasyon seviyelerinde çok küçük bir aralıkta elde edilen sönümlenme değerleri eğri üzerine düşmüş ve %0.03 birim şekil değiştirmelerden sonra datanın genelde eğrilerin altında yer aldığı tespit edilmiştir.

Her iki sönümlenme beraber değerlendirildiğinde %0.01’lerine kadar literatür eğrileriyle [5,19] çok iyi bir harmoni gözlemlenmişken %0.01 seviyesinden sonra daha yatay sonuçlar elde edilmiştir. Bunun nedeni ise bölgenin literatürde eşik bölge [4] olarak tanımlanan bölge içine düşmesinden kaynaklanmaktadır. Bu deformasyon seviyesinden sonra (>0.01%) artık rezonant kolon deneyi ile değil de farklı dinamik deneyler (dinamik üç eksenli, torsional vb.) ile belirlenmesinin daha uygun olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 7. Killi kum numunesine ait sönüm oranı-birim kayma deformasyon değerleri

5. Sonuç ve Öneriler

Zeminlerin dinamik yükler altında göstereceği davranış yapıların tasarımında büyük önem taşımaktadır. Yapıların hem daha güvenli hem de daha ekonomik tasarlanması için yapıların küçük deformasyon seviyelerinde göstereceği davranış önemlidir. Bu kapsamda farklı zemin özelliklerine sahip kum numuneler üzerinde rezonant kolon deneyi yapılarak düşük birim kayma deformasyon seviyelerindeki dinamik özellikleri elde edilmiştir.

Deneylerde efektif gerilmenin etkisinden bağımsız değerlendirme yapılabilmesi amacıyla sabit 150 kPa çevre basıncı tercih edilmiş, datanın olası farklılıklar gösterebileceği nedeniyle her numune için eşdeğer 2 numune hazırlanmıştır. Rezonant kolon deneyine tabi tutulan 4 numune verileri

değerlendirmiş ve yapılan analizler sonucunda altı çizilmesi gereken noktalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Farklı zemin indeks özelliklerine sahip zeminlerin sismik yükler altında incelenmesi ve karşılaştırılmasının önemli olduğu görülmüştür. Literatürde önerilen dinamik davranış modellerinin her zemin için kullanılmayacağı iki farklı kum numunesi üzerinde yapılan deneyler sonucunda anlaşılmıştır.
- Toyoura kumu ve araziden elde edilen killi kumun farklı dinamik özellikler gösterdiği görülmektedir. Standart deney kumunun daha fazla rijitlik gösterdiği fakat araziden alınmış bir kum örneğinin daha düşük seviyelerde dayanımı olduğu belirlenmiştir. Zeminin kil içeriğinin dolayısıyla plastisite özelliğinin dayanımı ne kadar değiştirdiği çok açık bir şekilde ortaya çıkmıştır.
- Elde edilen sonuçlar literatürde kullanılan eğriler ile karşılaştırıldığında iki eğrinin de daha güvenli tarafta kaldığı, elde edilen kayma dayanımı ve sönüm oranlarının genel olarak eğrileri takip ettiği anlaşılmıştır. Tasarım aşamasında mevcut eğrilerin güvenli tarafta kalması problem yaratmazken, ekonomi açısından zeminlerin dinamik davranışlarının laboratuvar deneyleriyle belirlenmesinin önemini ortaya çıkarmıştır. Literatürde önerilen eğriler genelde birçok data içinden geçirilen eğriler olarak modellenmiş beraberinde alt ve üst limitler de sunmuşlardır. Dolayısıyla tasarım aşamasında bu noktanın kaçırılmamasının proje ekonomisine katkısı olacağı düşünülmektedir.
- Son olarak numunelerin sönümlenme oranları değerlendirilse çok küçük deformasyon seviyelerinden %0.01 kayma birim şekil değiştirmelerine kadar literatür eğrileriyle mutlak bir uyum olduğunu görülmüş bu değerden sonra ise daha yatay bir seyire evrilerek daha düşük değerler almıştır.

Deney sonucunda yapılan değerlendirmeler, sadece sabit bir çevre basıncı için ve standart deney kumu ile %12'lik plastisite değerine sahip killi kuma ait olup farklı çevre basıncı ve plastisite limitlerine sahip numuneler için tekrarlanarak daha da genel bir çerçevede yorumlanabilir.

Kaynaklar

- [1]. Görgün B., Ural N., “Bilecik İli Merkezinin Depremselliğinin İncelenmesi” El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2018, 5(2), 394-402.
- [2]. Bahadır, A.A., Onur, M.İ., “Derin Kazı Analizlerinde Küçük Şekil Değiştirme Rijitliğinin Etkisi” El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2018, 5(1), 96-106.
- [3]. Okur, D.V., Ansal, A., Stiffness Degradation of Natural Fine Grained Soils During Cyclic Loading, Soil Dyn Earthq Eng, 2007, 27, 843–54.
- [4]. Dobry, R., Vucetic, M., Dynamic Properties and Seismic Response of Soft Clay Deposits. Int Symp Geotech Eng Soft Soils, Ciudad México 1987, 51–87.
- [5]. Darendeli, MB., Development of a New Family of Normalized Modulus, PhD Thesis, 2001.
- [6]. Baziar, MH., Ghorbani, A., Katzenbach, R. Small-scale Model Test and Three-Dimensional Analysis of Pile-Raft Foundation on Medium-Dense Sand. Int J Civ Eng, 2009, 7, 170–5.
- [7]. Subramaniam, P., Banerjee, S., Torsional Shear and Resonant Column Tests on Cement Treated Marine Clay. Indian Geotech J, 2016, 46, 183–91.
- [8]. Dutta, TT., Saride, S., Jallu, M., Effect of Saturation on Dynamic Properties of Compacted Clay in a Resonant Column Test. Geomech Geoeng, 2017, 12, 181–90.
- [9]. Li, H., Senetakis, K., Effects of Particle Grading and Stress State on Strain-Nonlinearity of Shear Modulus and Damping Ratio of Sand Evaluated by Resonant-Column Testing. J Earthq Eng, 2018, 1–27.
- [10]. Im, J., Tran, A.T.P., Chang, I., Cho, G.C., Dynamic Properties of Gel-Type Biopolymer-Treated Sands Evaluated by Resonant Column Tests. Geomech Eng, 2017, 12, 815–30.
- [11]. Khan, Z., El Naggar, M.H., Cascante, G., Frequency Dependent Dynamic Properties from Resonant Column and Cyclic Triaxial Tests. J Franklin Inst, 2011, 348, 1363–76.

- [12]. Houbrechts, J., Schevenels, M., Lombaert, G., Degrande, G., Rucker, W., Cuellar, V., et al. RIVAS WP1.1 Test Proc. for the Determination of the Dyn. Soil Characteristics, 2011, 1–107.
- [13]. Umut, S., Volkan, D., Yilmaz, G., Firat, S. Dinamik Yükleme Şartlarında Kum / Lastik Karışımlarının Rijitlik ve Sönüm Özelliklerinin İncelenmesi. 2014, 1, 13–21.
- [14]. Pistolas, G.A., Anastasiadis, A., Pitolakis, K., Dynamic Behaviour of Granular Soil Materials Mixed with Granulated Rubber: Effect of Rubber Content and Granularity on the Small-Strain Shear Modulus and Damping Ratio. *Geotech Geol Eng*, 2018, 36, 1267–81.
- [15]. <http://www.utest.com.tr/tr/20365/Tam-Otomatik-Resonant-Kolon-ve-Burgusal-Kesme-Sistemi> (02.01.2020).
- [16]. Morsy, A.M., Salem, M.A., Elmamlouk, H.H., Evaluation of Dynamic Properties of Calcareous Sands in Egypt at Small and Medium Shear Strain Ranges, *Soil Dyn Earthq Eng*, 2019, 116, 692–708.
- [17]. Banerjee, S., Balaji, P., Effect of Anisotropy on Cyclic Properties of Chennai Marine Clay. *Int J Geosynth Gr Eng*, 2018, 4, 1–11.
- [18]. Bedr, S., Mezouar, N., Verrucci, L., Lanzo, G., Investigation on Shear Modulus and Damping Ratio of Algiers Marls Under Cyclic and Dynamic Loading Conditions. *Bull Eng Geol Environ*, 2019, 78, 2473–93.
- [19]. Menq, F.Y., Dynamic Properties of Sandy and Gravelly Soils (Ph.D. Dissertation). University of Texas, Austin, USA, 2003.