

Dinamik Üç Eksenli Test Sistemi ile Zeminlerin Dinamik Parametrelerinin Belirlenmesi

Ersin Güler¹

Özet

Deprem bölgelerinde yer alan yapıların güvenli bir şekilde tasarlanabilmesi için, bölgesel zemin koşullarının dinamik parametrelerinin titizlikle belirlenmesi ve bu parametrelerin tasarım hesaplamalarında kullanılması büyük bir öneme sahiptir. Bu, inşaat mühendisliği açısından kritik bir adımdır, çünkü zeminlerin dinamik özelliklerinin doğru bir şekilde tespit edilmesi, deprem etkileri altında yapıların davranışını daha kesin bir şekilde anlamamıza yardımcı olmaktadır. Bu süreç, yapısal güvenlik standartlarını karşılayan ve deprem etkilerine karşı dirençli olan yapıların tasarımında temel bir unsur olarak öne çıkar. Bu nedenle zeminlerin yüksek deformasyon seviyelerinde dinamik parametrelerinin belirlenmesinde dinamik üç eksenli deney sistemi (TRX) kullanılmaktadır. Elde edilen veriler ile deprem anında zemin davranışı belirlenir ve tasarımlarda kullanılır. Burada dinamik kayma modülü-birim şekil değiştirme ve sönüm oranı eğrileri elde edilmektedir. Bu çalışmada örselenmiş numuneler üzerinde TRX deney sistemi kullanılarak farklı çevre basınçları altında deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerde yükleme frekansı 1Hz olarak belirlenmiş ve her yüklemde 10 döngü yapılarak numunenin göçmesi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlarda çevre basıncının dinamik parametrelere etkisi incelenmiştir. Çevre basıncı arttıkça numune daha rijit bir durumda olmakta ve dayanım değerlerini etkilediği belirlenmiştir.

1. Giriş

Zeminlerin dinamik özelliklerini belirlemek için farklı test sistemleri kullanılmaktadır. Her bir deney sistemi farklı deformasyon seviyelerinde kayma modülü ve sönüm oranı değerlerini elde etmektedir. Bu kapsamda farklı deformasyon seviyelerinde Bender Eleman Deneyi, Rezonans Kolon Deneyi (RC), Dinamik Üç Eksenli Deney (TRX), Tekrarlı Basit Kesme ve Burulma Deney Sistemleri kullanılmaktadır [1-3].

1 Öğr.Gör.Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, eguler@ogu.edu.tr, 0000-0002-5679-8838

Dinamik üç eksenli test sistemi, araştırmacıların dinamik yüklere maruz kalan zeminin karmaşık davranışını derinlemesine incelemelerini sağlayan vazgeçilmez bir araştır. Bu kapsamlı araştırma, döngüsel üç eksenli testler ve düşük genlikli dinamik titreşimler gibi çok yönlü teknikler kullanılarak zeminin dinamik özelliklerinin titiz bir şekilde ölçülmesiyle mümkün olmaktadır. Döngüsel üç eksenli deneyler alanında, sistem, özellikle suya doygun zeminler bağlamında ve yüksek gerilme seviyeleri koşullarında dinamik mukavemet, kayma modülü ve sönümleme katsayısı gibi önemli parametrelerin ortaya çıkarılmasında sağlam bir kolaylaştırıcı olduğunu kanıtlamaktadır [4]. Bu testlerden elde edilen verilerin hassasiyeti ve güvenilirliği, mühendislik sismolojisi alanında çok önemli hale gelmekte ve sismik aktiviteye duyarlı alanlarda yer hareketinin değerlendirilmesi için değerli bilgiler sunmaktadır [5-7].

Özetle, dinamik üç eksenli deney sistemi, geoteknik araştırma ve mühendislik uygulamalarının geniş repertuarında paha biçilmez bir araç olarak ortaya çıkmaktadır.

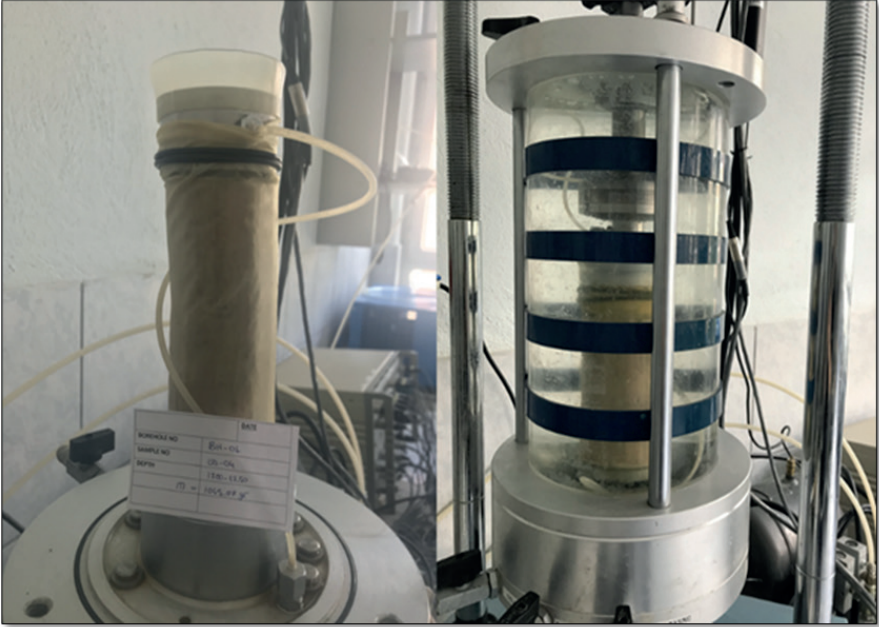
Zemin mekaniğinde, kayma modülü (G_{max}) ve sönüm oranı (D) zeminlerin dinamik özelliklerini karakterize etmek için kullanılır ve mühendislik uygulamalarında önemli parametrelerdir. Kayma modülü, bir zeminin elastik davranışını yansıtır ve kayma deformasyonlarına karşı direncini ifade eder. Yüksek G_{max} değerleri, zeminin sismik yükler altında daha dirençli ve sağlam olduğunu gösterir [8-10]. Özellikle zeminin deprem etkilerine karşı tepkisinin değerlendirilmesi ve sismik analizlerde kullanılması açısından belirleyici bir faktördür. Sönüm oranı, zeminin enerji yutma kapasitesini ifade eder. (D) değeri, yüksek frekanslı titreşimli yükler altında zeminin enerji kaybını gösterir. Bu parametreler, yapı mühendisliği alanında deprem etkilerinin değerlendirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır [11-13].

Bu parametrelerin doğru bir şekilde belirlenmesi, mühendislerin yerel zemin koşullarını dikkate alarak binaları, köprüleri ve diğer altyapı tesislerini güvenli bir şekilde inşa etmelerini sağlar. Bu yapıların depreme dayanıklılığını en üst düzeye çıkarmak ve depreme eğilimli bölgelerde yaşayan toplulukların güvenliğini artırmak için önemli bir adımdır. Bu sayede yapıların depremlerle başa çıkma kapasitesi artırılmakta ve deprem sonrası toparlanma süreçleri daha etkin bir şekilde yönetilebilmektedir.

Bu çalışmada her iki dinamik parametre ölçülmüş ve farklı parametrelerle karşılaştırılmıştır.

2. MALZEME VE METHOD

Zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesine yönelik dinamik üç eksenli test sistemleri, zemin mühendisliği alanında geniş kabul görmüş ve etkili ve yaygın bir araştırma aracı olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler, zeminlerin dinamik tepkisini ayrıntılı olarak analiz etmek, ölçmek ve anlamak için tasarlanmıştır. Dinamik üç eksenli test sistemleri, zeminlerin çeşitli yükleme koşulları altında nasıl davrandığını belirlemek, zeminlerin sismik performansını değerlendirmek ve yapıların zeminlerle etkileşimini anlamamızı sağlamaktadır.



Şekil 1. Deney sisteminde numunenin yerleştirilmesi

Deney sisteminde kullanılan yardımcı elemanlar CO₂ tüpü, membran, gözenekli taş, filtre kağıdı, o-ring, numune yerleştirme aparatı ve silikon gresten oluşmaktadır. Deney tüm bu aparatlar ve yardımcı malzemeler kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Deneyin aşamaları incelendiğinde;

- Numunenin hazırlanması,
- Deney düzeneğinin hazırlanması,
- Numunenin hücreye yerleştirilmesi,

- Numunenin doygunluğu,
- Örneklemin konsolidasyonu ve
- Numunenin yüklenmesi aşamalarından oluşur.

Deneye başlamadan önce su tankına yeterli miktarda su pompalanır. Daha sonra vakum yardımı ile suyun içindeki hava alınır. Bu aşamadan sonra hazırlanan numune deney sistemine yerleştirilmek üzere bekletilir. Hücre içerisine ilk olarak filtre kağıdı ve gözenekli taş yerleştirilir. Hücrenin tabanına silikon gres sürülerek membran geçirilir [14].



Şekil 2. Dinamik üç eksenli deney sistemi genel görünümü

Numunenin doygunluğu ve konsolidasyonu sağlandıktan sonra son işlem olarak numunenin yüklenmesi gerçekleştirilir. Burada numuneye gerekli ortam basıncı verildikten ve diğer tüm bağlantılar kontrol edildikten sonra numune yüklenir. Yapılan çalışmada 1 Hz frekansında yükleme yapılmıştır. Yapılan sondaj çalışmalarının ardından elde edilen numuneler ile yapılan çalışmada numunenin göçmesine kadar yükleme devam etmiş ve dinamik parametre değerleri elde edilmiştir. Deney sisteminin genel görünümü Şekil 2'de gösterilmiştir. Yapılan deney programı Tablo 1'de gösterilmiştir.

Bu deney sisteminde kullanılan numunelerde 70*140mm boyutlarında tek tabaka halinde sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Optimum su muhtevasında hazırlanan numunelerde gerekli homojenlik sağlanmıştır.



Şekil 3. Deney sistemi için hazırlanan numune

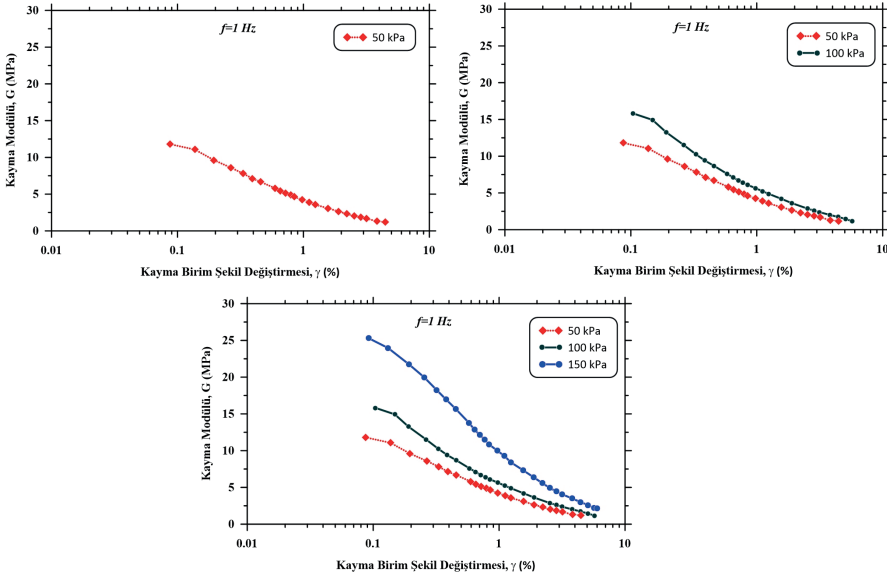
Çalışmada hazırlanan numunelerin ardından deney programı hazırlanmış ve 1 Hz frekasında sinüs dalgası uygulanarak yükleme yapılmıştır. Deneylerde her yüklemede 10 döngü yükleme yapılmıştır. Tablo 1'de deney programı ve zemin türü bilgileri yer almaktadır.

Tablo 1. Deney programı ve zemin bilgileri

| Deney No | Zemin Sınıfı | Çevre basıncı (kPa) | w (%) | Deney Tipi | Numune Boyutları (mm*mm) |
|----------|--------------|---------------------|-------|------------|--------------------------|
| 1 | CH | 50 | 42.3 | TRX-1Hz | 70*140 |
| 2 | CH | 100 | 42.3 | TRX-1Hz | 70*140 |
| 3 | CH | 150 | 42.3 | TRX-1Hz | 70*140 |

3.BULGULAR

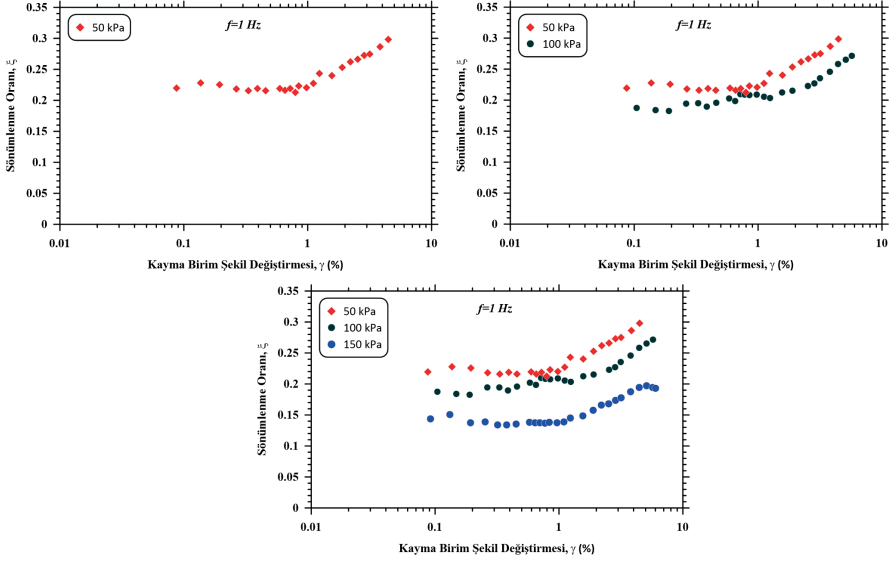
Numunelerin hazırlanmasının ardından dinamik üç eksenli test sistemi ile deneyler yapılmıştır. 1 Hz yükleme frekansında ve 50-100-150 kPa çevre basıncı altında yapılan deneylerde hem kayma modülü-birim şekil değiştirme hem de sönümleme oranı eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 4. Kayma modülü-birim şekil değiştirme eğrileri

Yükleme esnasında her deformasyon seviyesinde 10 döngü yapılarak daha sonra deformasyon değeri adım adım artırılmıştır. Şekil 4'te görülen her bir nokta burada deformasyon seviyesinden elde edilen kayma modülü değerini ifade etmektedir.

Numunelerin homojen olarak hazırlanması ve aynı şartlarda yükleme yapılması nedeniyle çevre basıncı etkisi incelenmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda derinliğe bağlı olarak dayanım değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Burada 50kPa çevre basıncında 12MPa değerinde iken 100kPa'da 17MPa değerine ve 150kPa çevre basıncında 27MPa değerine ulaştığı belirlenmiştir. 150kPa çevre basıncında daha net bir artış olduğu ve çevre basıncının etkisinin daha etkin olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Sönümlenme oranı eğrileri

Sönümlenme oranı eğrilerini incelediğimizde Şekil 5'te görüldüğü üzere 50kPa çevre basıncında daha yüksek sönüm değerlerinin olduğu belirlenmiştir. Numunenin çevre basıncı etkisi ile rijit olması sebebiyle daha az sönümlenme değerlerine ulaştığı belirlenmiştir.

4.SONUÇLAR

Zeminlerin dinamik etkiler sonucunda göstereceği davranış deprem bölgelerindeki yapılar için önemlidir. Bu nedenle dinamik üç eksenli deney sisteminde zeminlerin göstereceği davranışın incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada çevre basıncı etkisi incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda farklı deformasyon seviyelerinde dinamik parametreler elde edilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda yüksek plastisiteli kil numuneleri kullanılarak tek tabaka halinde sıkıştırma işlemi yapılmış ve bu numuneler optimum su muhtevasında hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde;

- Yüksek deformasyon değerlerinde zeminlerin dinamik parametreleri elde edilmiştir.
- Deformasyon miktarının hesaplanmasında deneylerde on adet döngü elde edilmiş ve grafiklerde bir değer olarak işaretleme yapılmıştır. Bu şekilde verilerin değerlendirilmesinde daha gerçekçi olması sağlanmıştır.
- 1 Hz frekansında yapılan yüklemelerde, 50-100-150 kPa çevre basıncı altında yapılan deneylerde hem kayma modülü-birim şekil değiştirme hem de sönümleme oranı eğrileri elde edilmiştir.
- Çevre basıncı artışı ile dayanım değerlerinde artış olduğu ve bu artışın çevre basıncı artışından daha fazla etkilendiği belirlenmiştir.
- Sönümleme oranı eğrileri incelendiğinde daha rijit numunenin daha az sönüm yaptığı belirlenmiştir.
- Yapıların tasarımında ilk 20m derinliğin çok önemli olduğu ve bu derinlikteki zeminlerin dinamik parametrelerinin belirlenmesi gerektiği görülmektedir.
- Yapılacak olan analizlerde hem dayanım hem sönümleme değerlerinin sahaya özel belirlenmesinin önemi görülmektedir.

Deney sonuçlarının güvenilirliğini görmek açısından hem deney sayısının artması hem de literatürde yer alan dayanım değerleri ile de karşılaştırma yapılması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Arpit, Jain., Abhijit, Chakraborty., Sukanta, Das., Satyendra, Mittal. (2021). Cyclic Triaxial Test to Measure Strain-Dependent Dynamic Properties—A Comprehensive Study. doi: 10.1007/978-981-33-6564-3_59
- Šarūnas, Skuodis., Neringa, Dirgėlienė., Jurgis, Medzvieckas. (2020). Using Triaxial Tests to Determine the Shearing Strength of Geogrid-Reinforced Sand. *Studia Geotechnica et Mechanica*, doi: 10.2478/SGEM-2020-0005
- Yi, Xia., Chunmei, Mu., Wenjie, Li., Kai, Ye., Ha, Wu. (2022). Study of Dynamic Evolution of the Shear Band in Triaxial Soil Samples Using Photogrammetry Technology. *Sustainability*, doi: 10.3390/su142114660
- Xianyuan, Tang., Xianyuan, Tang., Wang, Shihai., Feng, Cheng. (2021). Experimental study on dynamic stress dynamic strain relationship and dynamic modulus of reinforced expansive soil. doi: 10.1088/1755-1315/669/1/012006
- Pradipta, Chakraborty., Aaditaya, Raj, Roshan., Angshuman, Das. (2020). Evaluation of Dynamic Properties of Partially Saturated Sands Using Cyclic Triaxial Tests. *Indian Geotechnical Journal*, doi: 10.1007/S40098-020-00433-3
- B., R., Madhusudhan., A., Boominathan., Subhadeep, Banerjee. (2020). Effect of Specimen Size on the Dynamic Properties of River Sand and Rubber Tire Shreds from Cyclic Triaxial and Cyclic Simple Shear Tests. doi: 10.1007/978-981-15-6086-6_37
- Adnan, Jawad., Bushra, S., Albusoda. (2022). Numerical Modeling of a Pile Group Subjected to Seismic Loading Using the Hypoplasticity Model. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, doi: 10.48084/etasr.5351
- Lei, Gao., Guohui, Hu., Jiaru, Chen., Keyi, Ren., Qiuyue, Zhou., Xiangjuan, Yu. (2018). Dynamic Properties of Carbon-Fiber-Reinforced Clay Soil. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, doi: 10.1007/S11204-018-9543-Z
- Qassun, Sa'ad, Al-Deen, Mohammed, Shafiqu., Murtadha, A., Abdurassol. (2017). Database of Dynamic Soil Properties for Most Iraq Soils. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*,
- Lei, Gao., Yi, Luo., Zhen, Ren., Xiangjuan, Yu., Kexiong, Wu. (2020). Experimental Study on Dynamic Properties of Nano-MgO-Modified Silty Clay. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, doi: 10.1007/S40891-020-00210-5
- Bayat M., Ghalandarzadeh A., (2018), "Stiffness Degradation and Damping Ratio of Sand-Gravel Mixtures Under Saturated State". *Int J Civ Eng*, 16, 1261–77. <https://doi.org/10.1007/s40999-017-0274-8>

- Güler, E., and Afacan, KB., (2021), "Dynamic behavior of clayey sand over a wide range using dynamic triaxial and resonant column tests". *Geomechanics and Engineering*. 105-113. <https://doi.org/10.12989/gae.2021.24.2.105>
- Kumar, SS., Krishna, AM., Dey, A., (2017), "Evaluation of dynamic properties of sandy soil at high cyclic strains". *Soil Dyn Earthq Eng*, **99**, 157–67. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.05.016>
- ASTM D4767-11. Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils, Annual Book of ASTM Standards, 913-925.