



Taş Kolonlarla İyileştirilen Zeminlerin Deprem Etkisinde Taşıma Gücü Analizi: 2020 İzmir Depremi Örneği

Ferhat Şahinkaya^{1*}, Gökhan Demir²

^{1*} İnşaat Mühendisliği / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bozok Üniversitesi, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5534-7058), ferhat.sahinkaya@yobu.edu.tr

² İnşaat Mühendisliği / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3734-1496), gokhan.demir@omu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012867)

ATIF/REFERENCE: Şahinkaya, F. & Demir, G. (2021). Taş Kolonlarla İyileştirilen Zeminlerin Deprem Etkisinde Taşıma Gücü Analizi: 2020 İzmir Depremi Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1424-1427.

Öz

Bu çalışmada Plaxis 2D programı yardımıyla taş kolon ile güçlendirilen iki tabakadan oluşan zemininin deprem etkisi altındaki taşıma gücü değişimi incelenmektedir. Çalışmada 80 m genişliğinde ve 12 m lik problemlili kil tabakası, 18 m lik sıkı kum tabakası olmak üzere toplamda 30 m kalınlığındaki zemin modeli oluşturulduktan sonra, üzerine 4 m genişliğinde bir temel ve temel üzerine 0,5 m lik deplasman yükü yüklenerek analizler yapılmıştır. İlk bölümde, oluşturulan bu zemin modeli herhangi bir iyileştirmeye tabi tutulmadan, 30 Ekim 2020 tarihinde meydana gelen İzmir depremi etkisindeki taşıma gücü analizi yapılmıştır. Daha sonra aynı özellikteki zemin modeline 60 cm çapında, iki farklı aralıkta (s/D:2, s/D:3) taş kolonlar eklenerek yine aynı depremin etkisinde analizler yapıp sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda deprem etkisinde büyük problem oluşturabilecek yumuşak zeminlerin iyileştirilmesinde taş kolon yönteminin taşıma gücü kaybını önlemede ne kadar etkili bir yöntem olduğu açıkça görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yumuşak zemin, Taş kolonlar, Deprem, Taşıma gücü, Sonlu elemanlar.

Bearing Capacity Analysis of Soils Improved with Stone Columns Under the Effect of Earthquake: Example of 2020 Izmir Earthquake

Abstract

In this study, with the help of Plaxis 2D program, the change in bearing capacity of the soil, which consists of two layers reinforced with stone columns, under the effect of earthquake is examined. In the study, after creating a soil model of 80 m width and 12 m of problematic clay layer and 18 m of tight sand layer, a total of 30 m thick, analyzes were made by loading a 4 m wide foundation and a 0.5 m displacement load on the foundation. In the first part, the bearing capacity analysis under the influence of the Izmir earthquake, which occurred on October 30, 2020, was carried out without any improvement in this soil model. Then, stone columns with 60 cm diameter and two different intervals (s/D:2, s/D:3) were added to the soil model with the same characteristics, and analyzes were made under the influence of the same earthquake and the results were compared. As a result of the study, it has been clearly seen how effective the stone column method is in preventing the loss of bearing capacity in the improvement of soft soils that may cause major problems in the earthquake effect.

Keywords: Soft soil, Stone columns, Earthquake, Bearing capacity, Finite elements.

* Sorumlu Yazar: ferhat.sahinkaya@yobu.edu.tr

1. Giriş

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında deprem etkisindeki taşıma gücünün hesaplanmasında genel olarak yarı-statik yaklaşımın kullanıldığı görülmektedir. Yarı-statik yaklaşımda depremin pik ivme değerinin yer çekimi ivmesine oranlanmasıyla elde edilen kh katsayısı, zemin modeline etki ettirilerek taşıma gücü hesaplanmaktadır. Fakat bu yaklaşımda, deprem sırasındaki taşıma gücü, zemine tek bir ivme uygulanarak hesaplandığı için yetersiz bir yaklaşım olarak görülmektedir. Bu çalışmada ise Plaxis 2D sonlu elemanlar programı kullanılarak 30 Ekim 2020 tarihinde meydana gelen İzmir depreminin ivme kaydı, model tabanından etki ettirilerek, taşıma gücünün zamana bağlı olarak nasıl değiştiği belirlenmiştir.

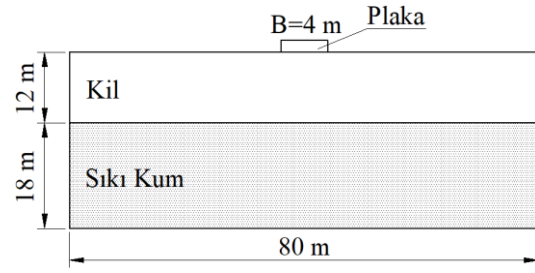
Yapılan bir çalışmada çimento ile geliştirilmiş killi-kum zemin üzerine inşa edilmiş bir şerit temel altındaki sismik taşıma kapasitesini iki boyutlu sonlu farklar yöntemini (FDM) kullanarak incelenmişlerdir. Sonuç olarak çimentonun %2, %4 ve %6 eklenmesinin sismik taşıma kapasitesini sırasıyla %270, %140 ve %176 oranında artırdığı gösterilmiştir (Kholdebarin, 2008; Kholdebarin 2016).

Birbirine yakın bir şekilde konumlandırılmış iki şerit temel arasındaki boşluk miktarının, sismik oturma üzerindeki etkisini incelenmiştir (Vivek, 2011). Yine farklı bir çalışmada sıvılaştırılabilir bir kil tabakası üzerine inşa edilmiş bir şerit temelin sismik oturma, sismik sıvılaşma ve taşıma kapasitesi kayıplarını incelenmiştir (Karamitros, 2013). Şevler üzerine yapılan bir çalışmada inşa edilmiş bir temelin sismik yer değiştirmesi üzerinde etkilerin etkisi araştırılmış ve etkilerin varlığının sismik yer değiştirmeyi azalttığı sonucuna varılmıştır (Azzam, 2015). Doygun bir kum üzerine oturan sığ bir temel ile yapılan bir çalışmada deprem sırasındaki taşıma gücü incelenmiştir. Çalışmada, gömülme derinliğinin kumun bağıl yoğunluğunun, şerit temelin genişliğinin ve en yüksek zemin ivmesinin, sonuca olan etkisi üzerinde odaklanılmıştır (Mansour, 2016). Farklı bir çalışmada ise 50 kPa drenajsız kesme dayanımına sahip yumuşak killi zemin üzerine oturan betonarme çok katlı bir binanın sismik davranışına temel boyutunun etkisi incelenmiştir. Bu çalışmaların tamamı, deprem sırasında yumuşak bir kil zeminde meydana gelen yüksek miktardaki deplasman ve taşıma gücü kayıplarını işaret etmektedir (Nguyen, 2016).

2. Zemin Modelinin Oluşturulması

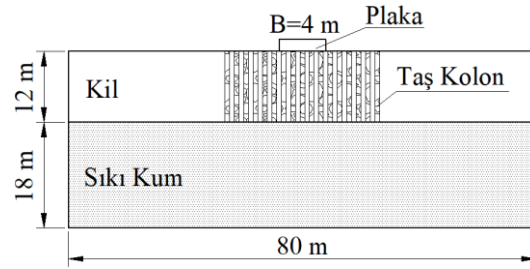
Sayısal analizlerde zemin modelinin boyutu hakkında literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Özellikle deprem etkisi altında yapılan dinamik analizlerde zemin modelinin boyutları büyük önem arz etmektedir. Derinlik ve genişliğin belirli ölçülerin altında seçilmesi analiz sonucunu doğrudan etkilemektedir. Nitekim bu konuda yapılmış bir çalışmada zemin genişliğinin deprem sırasında meydana gelen oturma üzerindeki etkisi araştırılmış ve 40 m genişliğin altındaki değerlerde oturma miktarının azalarak hatalı sonuçlar bulunmasına sebep olduğu görülmüştür. 80 m genişlik ile yapılan analizlerde ise elde edilen oturma miktarının 40 m ile aynı olduğu gösterilmiştir (Alzabeebee, 2020). Bu ve benzer çalışmalarda göz önünde tutularak analizlerde kullanılan zemin modelinin genişliği 80 m derinliği ise 12 m yumuşak kil, 18 m çok sıkı kum olmak üzere toplamda 30 m olarak belirlenmiştir. Ayrıca yükün zemine düzgün bir şekilde aktarılması için modelin ortasına 4 m genişliğinde

plaka temel yerleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan zemin modeli Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Taş kolonsuz zemin modeli

Taş kolonsuz zeminlerin analizlerinin tamamlanmasının ardından zemine 60 cm çapında temel genişliğinin 3 katı kadar (3B) derinlikte ve taş kolonların merkezleri arası mesafenin (s), taş kolonların çapına (D) oranı 2 ve 3 (s/D=2-3) olacak şekilde iyileştirme yapılmıştır. Bu iyileştirme sayesinde temelden gelen yük 12 m derinliğindeki problemlili zemin tabakasından, hemen altta yer alan çok sıkı kum tabakasına aktarılmıştır. Şekil 2’de taş kolonlu zemin modeli görülmektedir.



Şekil 2. Taş kolonlu zemin modeli

Bu çalışmada, zemine zamana bağlı bir ivme uygulanarak deprem simule edileceği için ve bu analiz sırasında zeminin sönümlenmesine ihtiyaç duyulacağı için oluşturulan modellerde HSmall malzeme modeli kullanılmıştır. Zemin sönümlenmesi, genel olarak radyasyon sönümlenmesi ve histeretik (malzeme) sönümlenme olarak ikiye ayrılabilir. Bunları ayırmak zordur, ancak PLAXIS'in sonlu eleman modellemesi sayesinde radyasyon sönümlenmesinin açıklandığını rahatlıkla söyleyebiliriz. Öte yandan, histeretik sönümlenme, elastik ve plastik gerilmeler ile daha da detaylandırılabilir. Zemin modelleri (LE hariç), gerilme noktaları, dinamik hesaplamalarda sönümlenmeye yol açacak şekilde (ilgili zemin modelinin) hata kriterine ulaşırsa plastik gerilmeler oluşturulabilir. Kısacası, HSmall modeli, modül indirgeme eğrilerinin yardımıyla dinamik uygulamada histeretik sönümlenmeyi modelleme yeteneğine sahiptir (Raikar, 2016) (Burada kayma modülü G, kayma geriliminin logaritmik bir fonksiyonu olarak çizilir.)

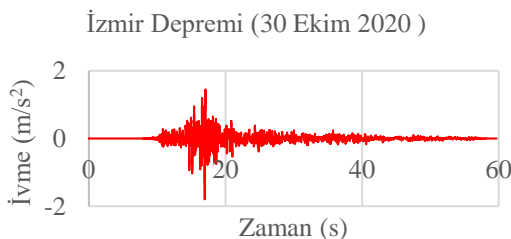
Zeminin kayma modülünün artan gerinim genliği ile doğrusal olmayan bir şekilde azaldığı bilinmektedir. Bu nedenle, zeminlerin gerçekten elastik kabul edilebileceği gerinim aralığı çok küçüktür. Orijinal HS modeli, yükleme ve yeniden boşaltma sırasında elastik malzeme davranışını varsayar. Kayma modülündeki bu azalma, sertlik azaltma eğrisi kullanılarak formüle edilen HSmall modeli tarafından dikkate alınır. Analizlerde kullanılan kil, sıkı kum ve taş kolonun malzeme özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Malzeme özellikleri

Malzeme	Kil	Sıki kum	Taş kolon
Drenaj Durumu	Drenajsız	Drained	Drenajlı
Kuru Birim Hacim Ağırlık, γ_k (kN/m ³)	18	20	19
Suya Doygu Birim Hacim Ağırlık, γ_d (kN/m ³)	21	20	22
Permabilite, k_x, k_y (m/gün)	1×10^{-8}	10	100
Drenajlı üç eksenli deneylerle elde edilen sekant rijitliği, E_{50}^{ref} (kN/m ²)	902,3	60x103	27,07x10 ³
Drenajlı odometre deneyleriyle elde edilen tanjant rijitliği, E_{oed}^{ref} (kN/m ²)	1100	60x103	27,07x10 ³
Elastik yükleme/boşaltma rijitliği, E_{ur}^{ref} (kN/m ²)	2707	180x103	69,23x10 ³
Zeminin gerilme bağımlı sertliği, power (m)	1	0.4	0,5
Poisson Oranı, ν	0.3	0.15	0,3
Kohezyon, c , (kN/m ²)	15	1	1×10^{-9}
İçsel Sürtünme Açısı, ϕ (°)	5	40	35
Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısı, K_0	0.84	0.344	0,32
Maksimum kayma modülü, G_{0ref}	2×10^4	10×10^4	1×10^3
Kayma birim deformasyonu, γ_{07}	1×10^{-3}	0.15×10^{-3}	$1,5 \times 10^{-4}$

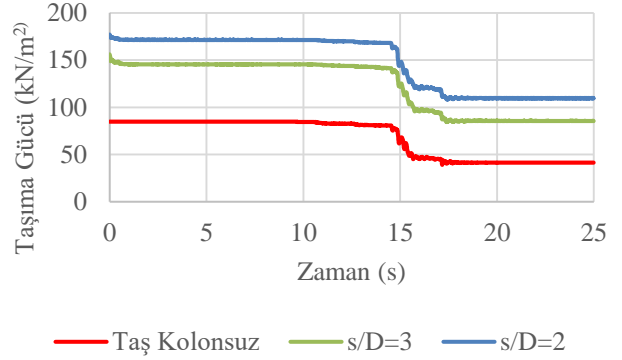
3. Sonlu Elemanlar Analizi

İlk olarak taş kolonlu ve taş kolonsuz zemin modellerine statik bir deplasman yükü uygulanarak limit taşıma gücü değerleri hesaplanmıştır. Yapılan bu analizlerde taş kolonsuz zemin modelinin taşıma gücü 84,78 kN/m² olarak bulunurken, taş kolonlarla iyileştirilen zemin modelinin taşıma gücü s/D=3 ve s/D=2 için sırasıyla 155,95 kN/m² ve 177,05 kN/m² olarak bulunmuştur. Daha sonra İzmir depremine ait Şekil 3'te görülen ivme kayıtları kullanılarak dinamik analizler yapılmıştır.



Şekil 3. İzmir depremi ivme-zaman grafiği

Şekil 3'teki ivme-zaman verileri, zemin modellerinin tabanından bir deplasman yükü yardımıyla sisteme etki ettirildikten sonra taşıma gücü değerlerinde zamana bağlı olarak azalmalar yaşanmıştır. Özellikle taş kolonsuz zemin modelinde İzmir depremi etkisinde yapılan analizde taşıma gücünde kayda değer azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Taş kolonsuz ve taş kolonlu zemin modellerine ait dinamik zamana bağlı taşıma gücündeki değişimler Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Taşıma gücü - zaman

4. Sonuçlar ve Öneriler

Şekil 4'teki grafik incelendiğinde 25 saniye süreyle uygulanan deprem sonrasında taş kolonsuz zeminin taşıma gücü 41,36 kN/m², taş kolon aralığı s/D=3 olan zemin modelinin taşıma gücü 85,52 kN/m² ve taş kolon aralığı s/D=2 olan zemin modelinin taşıma gücü 109,72 kN/m² olarak bulunmuştur.

Taş kolonsuz zeminde taşıma gücü deprem sonrasında %51 azalırken, s/D=3 ve s/D=2 aralıklarla uygulanmış taş kolonlu zeminlerin taşıma gücü değerleri sırasıyla %45 ve %38 azalmıştır. Sonuç olarak deprem sırasında taşıma gücünde minimum kayıp s/D=2 aralıklarla uygulanan taş kolonlu zemin modelinde meydana gelmiştir. Taş kolonsuz zemin modelinde ise taşıma gücü yarıdan fazla kayba uğrayarak bir yapı açısından ciddi tehlike arz edecek derecede azalmıştır. Bu nedenle deprem sırasındaki taşıma gücü kayıpları son derece önemli olup, yapılar inşa edilmeden önce, olası bir deprem durumunda zeminde meydana gelebilecek taşıma gücü kayıpları, nonlineer sayısal analiz yapabilen sonlu elemanlar programlarıyla değerlendirilebilir. Elde edilen sonuçlara göre gerekli görülürse, söz konusu zeminde iyileştirme yapılması uygun olacaktır.

Kaynakça

- Alzabeebee, S. (2020). Seismic settlement of a strip foundation resting on a dry sand. *Natural Hazards*, 103, 2395–2425. University of Al-Qadisiyah, Al-Qadisiyah, Iraq.
- Azzam, WR. (2015). Finite element analysis of skirted foundation adjacent to sand slope under earthquake loading. *HBRC J* 11(2):231–239
- Karamitros, DK., Bouckovalas, GD., Chaloulos, YK. (2013). Insight into the seismic liquefaction performance of shallow foundations. *J Geotech Geoenvironment Engineering*. 139(4):599–607
- Karamitros, DK., Bouckovalas, GD., Chaloulos, YK., Andrianopoulos, KI. (2013). Numerical analysis of liquefaction-induced bearing capacity degradation of shallow foundations on a two-layered soil profile. *Soil Dynamic Earthquake Engineering*. 44:90–101

- Karamitros, DK., Bouckovalas, GD., Chaloulos, YK. (2013). Seismic settlements of shallow foundations on liquefiable soil with a clay crust. *Soil Dynamic Earthquake Engineering*. 46:64–76
- Mansour, MF., Abdel-Motaal, MA., Ali AM. (2016). Seismic bearing capacity of shallow foundations on partially liquefiable saturated sand. *International Journal of Geotechnical Engineer*. 10(2):123–134
- Nguyen, QV., Fatahi, B., Hokmabadi, AS. (2016). The effects of foundation size on the seismic performance of buildings considering the soil–foundation–structure interaction. *Structural Engineering and Mechanics*. 58(6):1045–1075
- Raikar P. (2016). Modelling Soil Damping for Suction Pile Foundations. *Master of Science Thesis*, Delft University of Technology.
- S. Kholdebarin, A., Massumi, A., Davoodi, M., Tabatabaiefar, HR. (2008). Comparing of normal stress distribution in static and dynamic soil–structure interaction analyses. In: AIP conference proceedings, pp 650–657
- S. Kholdebarin, A., Massumi, A., Davoodi, M. (2016). Seismic bearing capacity of shallow footings on cementimproved soils. *Earthquake Structure*. 10(1):179–190
- Vivek, P. (2011). Static and dynamic interference of strip footings in layered soil. *Master Thesis*. Indian Institute of Technology Kanpur, India