

Kazıkların Deprem Yüğü Altında İncelenmesi

Cafer KAYADELEN¹, Baki BAĞRIAÇIK*², Gökhan ALTAY¹

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 25.05.2018

Kabul tarihi: 27.03.2019

Öz

Kazıklar, yapıların temel zemininde mukavemet artırıcı özellikler sağlaması açısından avantaj sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem, inşaat yapılması planlanan veya mevcut mühendislik yapılarının sorunlu temel zemininden dolayı zarar görmesini önlemek için kullanılmaktadır. Kazıklar, düşey ve deprem yüklerine dayanması açısından son yıllarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu nedenle, kazıkların temel davranışının iyi incelenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, kazıkların deprem yükü altındaki davranışı, sonlu elemanlar yöntemini kullanan Plaxis 2D programı yardımıyla araştırılmıştır. Analizlerde dört kazıktan oluşan kum zemin modeline belirli bir düşey yük etkisinde Kocaeli deprem titreşimi uygulanmıştır. Analizlerde kazıklar kuşaklı ve kuşaksız olmak üzere iki farklı durum için aynı deprem yüküne maruz bırakılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, kuşaklı kazık gruplarının ivme değerlerinin kuşaksız kazık gruplarına göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kazıklar, Nümerik analiz, Plaxis, Sonlu elemanlar yöntemi

Investigation of Piles Under Earthquake Load

Abstract

Piles can be advantageous for construction, mainly due to strength increasing properties in foundation soils. Piles are used to support the foundations of both new structures and existing structures suffering damage. Piles are widely used in active areas, where they may have to resist significant vertical and earthquake loads. Therefore, their behaviour under vertical and earthquake load should be of interest. In this study, behavior of piles under earthquake loads were investigated using Plaxis 2D Program which employs the finite element method. In the analyses, Kocaeli earthquake vibration was applied to a sand model consisting of four piles under a certain vertical load. The piles were subjected to the same earthquake load for two different situations, striped and non- striped. According to the results of the analysis, it was determined that the acceleration values of the striped piles are lower than the piles without striped.

Keywords: Piles, Numerical analysis, Plaxis, Finite element methods

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Baki BAĞRIAÇIK, bbagriacik@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Zeminlerin taşıma gücü ve oturmalar açısından yeterliliğinin artırılması açısından kazık temeller önemli bir yapı elemanı olarak düşünülmektedir. Ayrıca yapıların deprem gibi titreşim hareketlerinden ortaya çıkacak olan hasarların azaltılması ve/veya önlenmesi açısından kazıklı temeller önemli faydalar sağlayabilmektedir.

Tokimatsu ve arkadaşları [1] üç boyutlu sarsma sırasında kazıkların yenilme ve deformasyon durumları üzerindeki kinematik etkileri araştırmak için fiziksel model deneyler yapmışlardır. Deneyler 8 m çapında ve 6,5 m yüksekliğinde silindirik bir kasada kuru kum içerisinde 3x3 çelik grup kazık ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, 6 m/s² ve 8 m/s² gibi yüksek ivmelerde kazıklar üzerinde bulunan üst yapıda yana yatacak şekilde bir eğim meydana geldiği ifade edilmiştir. Ayrıca, araştırmacılar, yer değiştirmenin yanı sıra atalet kuvvetinin de kazık deformasyonu ve göçmesi üzerinde önemli etkilerinin olduğu belirtmişlerdir.

Kimura ve arkadaşları [2] H-joint çelik kazıkların (SPSP) geliştirilmesi ve uygulanması üzerine yaptıkları çalışmalarında iki çelik borunun H kesiti şeklinde kaynak yardımıyla birleştirilerek model deneyler yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda H-joint SPSP kazıklarının daha güçlü olduklarını ve eğilme momentine karşı daha efektif sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Buna ek olarak bu kazıkların rijitliklerinin diğerlerine göre çok daha yüksek olduğu araştırmacılar tarafından gösterilmiştir.

Shirato ve arkadaşları [3] 3x3 grup kazık üzerinde büyük ölçekli sarsma tablasında birtakım deneyler yapmışlardır. Kuru kum içerisine gömülü kazıklar üzerinde yapılan deneylerde, kazıklar 1995 yılında gerçekleşmiş olan Kobe depreminde kaydedilmiş ivme hareketleri altında gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlara bakıldığında, zemin ve kazıklar arasında yatay yük aktarımında gözlemlenen grup etkisinin derinlikle değişmediği belirtilmiştir.

Ishizaki ve arkadaşları [4] sıvılaştırılabilir zeminlerde yarı rijit kazık başı bağlantıları olan binaların

deprem davranışlarını incelemek için dinamik santrifüj model deneyleri yapmışlardır. Yapılan deneylerin sonucunda, yarı rijit kazık başı bağlantılarının, sıvılaştırma öncesinde ve sonrasında kazıkların eğilme momentlerinde gözle görünür bir azaltma etkisine neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yarı-rijit kazık başı bağlantıları ile üst yapının azami hızlanması, sıvılaştırılmış zeminde sert kazık başı bağlantıları olanlardan önemli ölçüde daha küçük olduğu belirtilmiştir.

Li ve arkadaşları [5] yaptıkları deneysel çalışmada eğimli ve düşey kazıkların dinamik yükler altındaki davranışını incelemişlerdir. Sinüzoidal uyarımlar kullanılarak bir dizi dinamik santrifüj deneyleri yapmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda, eğimli kazıkların daha yüksek kalıcı eğilme momentlerine sebep olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, üst yapının da rezonans frekansı olan 2.0 Hz'de, hem kısa hem de yüksek üst yapılarda, eğimli kazıkların performansının diğerlerine göre daha kötü olduğu net bir şekilde gösterilmiştir.

Ming-hua ve arkadaşları [6] yaptıkları nümerik çalışmada, tekrarlı düşey yükler altında kazıkların davranışını incelemişlerdir. ABAQUS programını kullanarak yaptıkları nümerik analizlerde, toplam oturma açısından bakıldığında kazık başlığındaki, farklı döngüsel yer değiştirme genliklerinin etkisi altında döngü süreleri ile doğrusal büyümeyi gösterdiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, genlik büyüdükçe aynı çevrim süreleri için kazık başlığının yaptığı oturmaların daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Baziar ve arkadaşları [7] fiziksel modelleme ile üst yapı frekansının kazıklı radye temel üzerindeki etkilerini araştırmak için iki farklı üst yapı kullanarak sarsma tablası ve santrifüj deneyleri yapmışlardır. Elde edilen verilere göre, yüksek temel ivme ile farklı temel frekanslara sahip iki üst yapının tepkisinin farklı olması, sistemin doğrusal olmayan özelliklerine ve karmaşık etkileşimlere bağlı olarak değiştiğinden küçük olduğu ifade edilmiştir. Buna karşılık düşük baz hızlanmalarındaki tepkiler arasındaki farkın büyük olduğu görülmüştür.

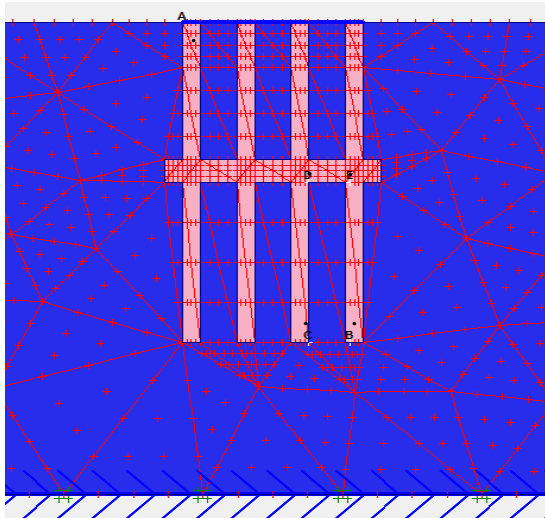
Bao ve arkadaşları [8] kumlu zeminde grup kazıklar üzerindeki çalışmalarında, kazıkları belirli gömülme derinliklerinde beton ile birbirine bağlayarak yaptıkları güçlendirmeyi deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Sonuçlar, yapılan güçlendirmenin etkisiyle, kazıklarda meydana gelen eğilme momentlerinin güçlendirme yapılmamış duruma göre büyük ölçüde azaldığını göstermiştir.

Literatüre bakıldığında, konu ile ilgili çalışmaları kısıtlı olduğu ve konu ile ilgili birçok araştırılması gereken parametre olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, kum zemine gömülen kazıkların kuşaklı ve kuşaksız durumdaki deprem yükü altındaki davranışı, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak Plaxis 2D programı yardımıyla araştırılmıştır.

2. NÜMERİK ANALİZ

Nümerik analizler Plaxis 2D programı ile iki boyutlu ortamda gerçekleştirilmiş ve analizlerde kullanılan model Şekil 1’de gösterilmiştir. Model düzlem deformasyon analiz koşulları dikkate alınarak oluşturulmuş ve zemin profili yer altı suyu olmayacak şekilde tasarlanmıştır. Analizler için uygun olan sonlu elemanlar ağı araştırılmış ve orta sıklıkta sonlu elemanlar ağı kullanılmıştır.



Şekil 1. Analizlerde kullanılan model

Şekil 1’de, çapı 1 m, boyu 21 m olan kazıkların zemin yüzeyinden 9 m aşağıda birbirleri ile bağlandığı görülmektedir. Burada yapılan 1,5 m’lik kuşak şeklindeki güçlendirmede beton malzemesi kullanılmış ve kullanılan beton malzemesinin özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Kazıkların ortasından geçen bu betonarme kuşak ile elde edilecek olan güçlendirme durumu, güçlendirmenin olmadığı kuşaksız model ile kıyaslanacağından, aynı şartlar altında kuşaksız olarak ta modellemeler yapılmıştır. Sonuçların değerlendirilebilmesi amacıyla, kazıklar üzerinde Şekil 1’de de görülen bazı noktalar belirlenmiş ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 1. Kazık malzemesinin özellikleri

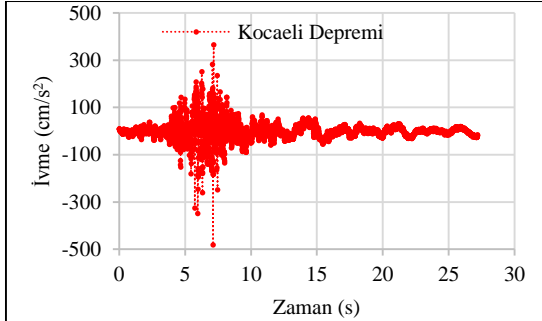
Malzeme Parametresi	Birimi	Değeri
Yoğunluk	kg/m ³	2400
Elastisite Modülü	MPa	40000
Posisson Oranı	-	0,17
Esneklik Modülü	MPa	17090
Kayma Modülü	MPa	42990

Model oluşturulurken, kazık boyları ve zemin ortamının boyutları sınır etkisi oluşmamasına dikkat edilecek şekilde seçilmiştir. Modelde Mohr-Coulomb zemin modeli kullanılmış ve zemin ile ilgili parametreler Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Zeminin mühendislik özellikleri

Malzeme Parametresi	Birimi	Değeri
Yoğunluk	kg/m ³	1700
Elastisite Modülü	MPa	13
İçsel Sürtünme Açısı	Derece	31
Posisson Oranı	-	0,30
Esneklik Modülü	kPa	5000
Kayma Modülü	kPa	17500

Zemin ortamı 17 Ağustos 1999 yılında, Kocaeli ilinin merkez ilçesinde meydana gelen deprem ivmesine maruz bırakılarak modelde belirlenen noktaların ivmelenmesi incelenmiştir. Deprem dataları AFAD’ın (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) internet sitesi üzerinden alınıp analiz için programa aktarılmıştır. Şekil 2’de Kocaeli depreminin zamana bağlı ivme grafiği gösterilmektedir.

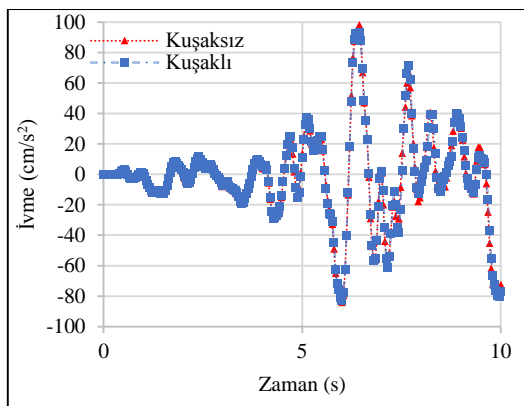


Şekil 2. Kocaeli depremi ivme-zaman gösterimi [9]

3. BULGULAR

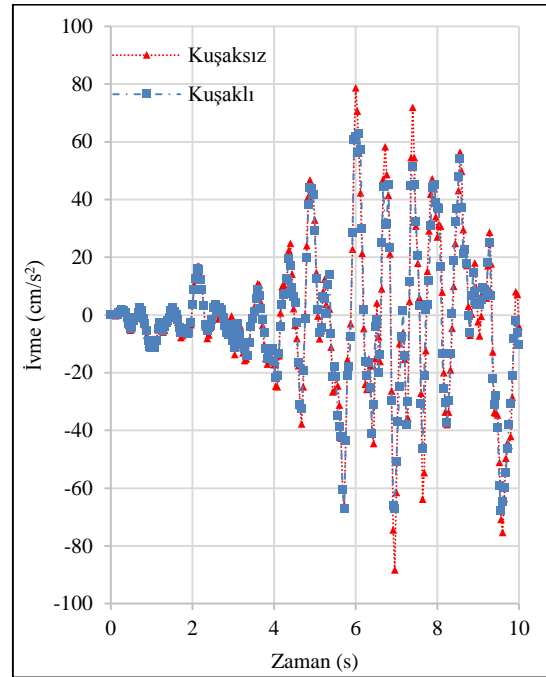
Yapılan analizlerde deprem yükü altında model kazıklar üzerinde kuşaklı ve kuşaksız durumda meydana gelen zamana bağlı ivmelenme incelenmiştir. Kazıklar üzerinde seçilen noktalarda incelenen ivmelenme değerleri ivme-zaman grafikleri ile verilmiştir (Şekil 3-5).

Şekil 3'de kuşaklı ve kuşaksız kazıklar için kurulan her iki model üzerinde de aynı koordinatlara sahip, kazıkların zemin yüzeyine en yakın kısmı olan A noktası için zamana bağlı ivme grafiği gösterilmiştir. A noktası üzerinde kuşak uygulaması ile kazıklara yapılan iyileştirmenin etkisi çok net bir şekilde görülememiştir. Sadece bazı zaman aralıklarında kuşaksız durumda ivme değerlerinin az da olsa kuşaklı duruma göre yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Kazık başlığındaki A noktasının ivme-zaman grafiği

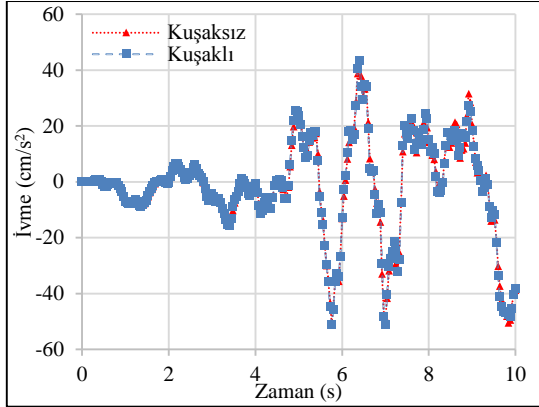
Şekil 4'de kazıkların zemin içerisinde en alt kısmında bulunan C noktası üzerindeki ivme-zaman grafikleri görülmektedir. C noktasına bakıldığında A noktasındaki belirli zaman aralığındaki ivme değerlerine kıyasla, kuşaksız ve kuşaklı durumda ortaya çıkan ivme değerlerinin farkı daha net görülmektedir.



Şekil 4. Zemin içinde kazık alt kısmında bulunan C noktasının ivme-zaman grafiği

Örneğin, kuşaklı ve kuşaksız durum için, 6. ve 8. saniye aralıklarında meydana gelen maksimum ivme değerleri arasındaki fark A noktası için verilen grafiğe bakıldığında çok net bir şekilde görülememektedir. Benzer şekilde C noktası için verilen grafiğe bakıldığında, aynı zaman aralığında bu farkın daha fazla olduğu görülebilmektedir. Bir başka ifade ile kuşaklı durumda aynı noktada ivme değerlerinin düştüğü anlaşılmaktadır.

Şekil 5'de kazıkların kuşak bölgesi olan D noktası üzerindeki analiz sonuçları incelenmiştir. D noktasında meydana gelen ivme değerlerine bakıldığında kazıklar üzerinde yapılan kuşak güçlendirmesinin etkisi net bir şekilde görülememektedir.



Şekil 5. Kuşak kısmında bulunan D noktasının ivme-zaman grafiği

Yapılan analiz sonuçları incelendiğinde;

- İyileştirme etkisinin en iyi görüldüğü nokta C noktası, yani kazıkların zemin içerisinde gömülü en alt noktası olduğu,
- Kuşak bölgesinde bulunan D noktası için verilen ivme-zaman grafiğinde elde edilen maksimum ivme değerleri, diğer noktalarda elde edilen değerlere göre daha düşük çıktı,
- A ve C noktalarında maksimum ivme değerleri 80 cm/s^2 ile 100 cm/s^2 arasında değişirken, D noktası için maksimum ivme değerleri 40 cm/s^2 ile 50 cm/s^2 arasında değiştiği görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kuşaklı ve kuşaksız kazıkların deprem yükü altında davranışı incelenmiştir. Yapılan nümerik analizlerin sonuçlarına göre kazıklar üzerinde belirlenen noktaların ivme değerleri karşılaştırılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Hem kuşaklı hem kuşaksız durumda en büyük ivme değerinin, zemin içinde gömülü en alt nokta olan C noktasında olduğu bulunmuştur. Bu durum titreşim anında serbest ucun yani kazık alt bölgelerinin daha çok salınım yaptığını göstermektedir. Özellikle de 6. ve 8. saniye aralıklarında meydana gelen maksimum ivme değerleri için her üç noktaya da bakıldığında,

kuşaklı ve kuşaksız durum arasındaki fark en iyi C noktasında görülmektedir. Kazık baş bölgesinde olan A noktası ve güçlendirme bölgesinde olan D noktası için hesaplanan değerlerde güçlendirmenin etkisi net bir şekilde görülememiştir.

Kuşak atılması durumunda kazıkların ayrı ayrı bireysel davranışları azaltılmıştır. Kazık sistemi kuşak sayesinde daha monolitik sistem gibi davranmaya doğru bir trend içerisine girmiştir. Böylelikle kazıklarda dinamik yüklerden dolayı eğilme momentlerinin etkisi azaltılmıştır.

Güçlendirme bölgesinde olan D noktası için ivme-zaman grafiğinde maksimum ivme değerlerine bakıldığında, diğer noktalara göre daha düşük olduğu bulunmuştur. Bu durum güçlendirme bölgesinde meydana gelen ivmelenmenin diğer bölgelere göre daha düşük olduğunu göstermektedir.

Model üzerindeki noktalar deprem hareketinden dolayı yatay yöndeki deformasyonlar açısından da incelenmiştir. Ancak hem kuşaklı hem kuşaksız durumda, aynı noktaların yatay yöndeki deformasyonlarında önemli farklar görülmemiştir. Bunun sebebi olarak, deprem hareketinin geniş alanlarda etkili olduğu, dolayısıyla sistemin içinde bulunduğu zemin ortamının her iki durumda da aynı deformasyonları gösterdiği düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Tokimatsu, K., Suzuki, H., Tabata, K., Sato, M., 2007. Three Dimensional Shaking Table Tests on Soil-pile-structure Models Using E-defense Facility. In: Proceedings of 4th International Conference on Earth-quake Engineering, June 25–28, Thessaloniki, Greece.
2. Kimura, M., Inazumi, S., Too, J.K.A., Isobe, K., Mitsuda, Y., Nishiyama, Y., 2007. Development and Application of H-joint Steel Pile Sheet Piles in Construction of Foundations for Structures. Soils and Foundations 47(2), 237–251.
3. Shirato, M., Nonomura, Y., Fukui, J., Nakatani, S., 2008. Large-scale Shake Table Experiment and Numerical Simulation on the Nonlinear

- Behavior of Pile-groups Subjected to Large-scale Earthquakes. *Soils and Foundations* 48(3), 375–396.
4. Ishizaki, S., Nagao, T., Tokimatsu, K., 2011. Dynamic Centrifuge Model Test of Pile-supported Building with Semi-rigid Head Connection in Liquefiable Soil. In: *Proceedings of 4th Japan–Greece Workshop Seismic Design of Foundations, Innovations in Seismic Design, and Protection of Cultural Heritage*, Tazoh, Gazetas (Eds.), 2, 237–246.
 5. Li, Z., Escoffier, S., Kotronis, P., 2016. Centrifuge Modeling of Batter Pile Foundations under Sinusoidal Dynamic Excitation. *Bulletin of Earthquake Engineering* 14, 673–697.
 6. Ming-hua, Z., Shuai, H., Yue, Z., 2017. Numerical Simulation on Behavior of Pile Foundations Under Cyclic Axial Loads. *Journal of Central South University* 24, 2906-2913.
 7. Baziar, M.H., Rafiee, F., Azizkandi, A.S., Lee, C.J., 2018. Effect of Super-structure Frequency on the Seismic Behavior of Pile-raft Foundation Using Physical Modeling. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 104, 196–209.
 8. Bao, X., Morikawa, Y., Kondo, Y., Nakamura, K., Zhang, F., 2012. Shaking Table Test on Reinforcement Effect of Partial Ground Improvement for Group-pile Foundation and its Numerical Simulation. *Soils and Foundations* 52(6),1043–1061.
 9. AFAD, 1999. Kocaeli Depremi İvme-Zaman Grafiği, http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php