

ÇOK BLOKLU YAPI SİSTEMLERİNDE KİNEMATİK ANALİZLERİN İRDELENMESİ

ÇOK BLOKLU YAPI SİSTEMLERİNDE KİNEMATİK ANALİZLERİN İRDELENMESİ

Mehmet Ömer TİMURAĞAOĞLU¹

ÖZET

Bu çalışmanın amacı farklı kazık boylarına sahip çok bloklu yapı sistemlerinin birlikte ve ayrı ayrı TBDY (2018)'de bulunan Yöntem I ile yapı-kazık-zemin etkileşim analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak irdelemektir. Nihai karşılaştırmalar zemin yüzeyindeki 1-Boyutlu ve 3-boyutlu tepki spektrumlarının karşılaştırılmasıyla kalibre edilmiş modeller üzerinde yapılmıştır. Çalışma üç aşamadan teşekkül etmektedir. Birinci aşamada 3-boyutlu doğrusal zemin davranış analizlerinin kalibrasyonu, ikinci aşamada 3-boyutlu doğrusal olmayan zemin davranış analizlerinin kalibrasyonu ve üçüncü aşamada ise kazık-zemin kinematik analizleri gerçekleştirilmiştir. Zemin malzeme modeli parametrelerinin kalibrasyonu literatürde sıkça kullanılan çalışmalar üzerinden yapılmıştır. Zemin sisteminin yanıl sınırlarında ve tabanında geçiren sınırlar kullanılarak zemin sınırlarına gelen dalgaların yansıması önlenmiştir. Zemin boyutlarına karar verirken parametrik çalışma gerçekleştirilmiş ve karar verilen modelde Ramberg-Osgood malzeme modeli kullanılmıştır. Kazıkların üst ucunda plastik mafsal tanımlanarak kazığın doğrusal olmayan davranışı da hesaba dahil edilmiştir. Modelleme ve kalibrasyonlar sonucunda oluşturulan çok bloklu sistemin ve tek bloklu yapıların analiz sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Sonuç olarak farklı boyda ve aynı proje içerisinde birbirinde belirli mesafelerde projelendirilen kazıklı temel etkileşimlerinin blokların bağımsız değerlendirilmesi durumunda gerek kazık-kazık etkileşimleri gerekse kazık boylarındaki değişimlerden kaynaklı olarak kesit tesirlerinde önemli değişiklikler oluşabileceği görülmüştür. Blokların tekil olarak değerlendirmesine örnek olarak dikkate alınan model için, bu çalışmada tekil değerlendirmenin oldukça konservatif kalabileceği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kazık, Zemin, Kazık-zemin etkileşimi, 3B modelleme, Ramberg-Osgood

ABSTRACT

The purpose of this study is to comparatively examine the results of structure-pile-soil interaction analyses for multi-block building systems with different pile lengths, both together and separately, using Method I from TBSC (2018). The comparisons were made on calibrated models by comparing the 1-dimensional and 3-dimensional response spectra on the ground surface. The study consists of three stages. In the first stage, calibration of 3-dimensional linear site response analyses was conducted. In the second stage, calibration of 3-dimensional nonlinear site response analyses was performed, and in the third stage, pile-soil kinematic analyses were conducted. The calibration of soil material model parameters was carried out based on frequently used studies in the literature. The reflection of waves coming to the boundaries of the soil system was prevented by using non-reflective boundaries at the lateral boundaries and base of the soil. A parametric study was conducted to decide on the soil dimensions, and the Ramberg-Osgood material model was used in the selected model. Nonlinear behavior of the pile was also considered by defining a plastic hinge at the top of the pile. The analysis results of the multi-block system and single-block structures were compared and evaluated after modeling and calibrations. As a result, it was observed that in the evaluation of interactions between pile foundations, which were designed at certain distances from each other with different lengths

¹ Dr, Mehmet Ömer TİMURAĞAOĞLU Danışmanlık, omertao@gmail.com

within the same project, significant changes in internal forces could occur due to both pile-pile interactions and variations in pile lengths, when the blocks were evaluated independently. For the model considered as an example in the single evaluation of blocks, it is seen that this study may be highly conservative.

Keywords: *Pile, Soil, Pile-soil Interaction, 3D modeling, Ramberg-Osgood*

1. GİRİŞ

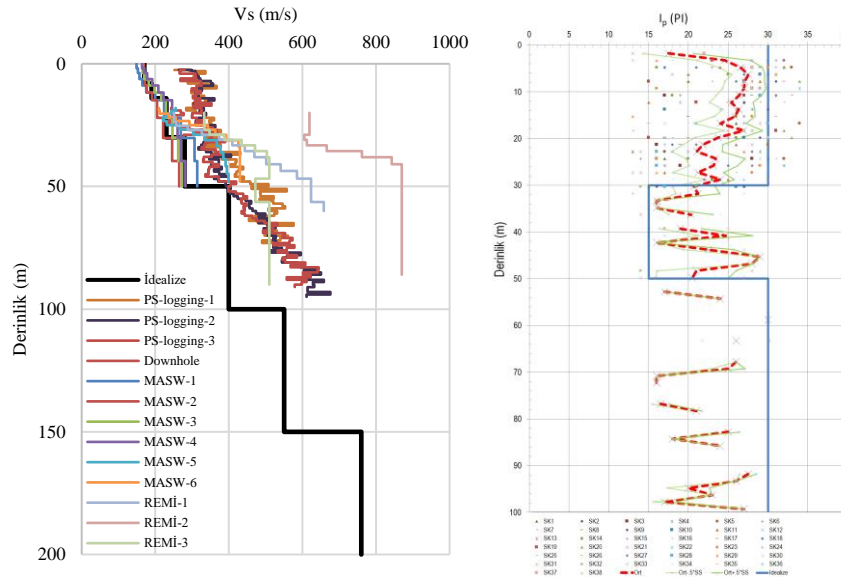
Zemin davranış analizleri (ZDA) dinamik yapı zemin etkileşim analizinin ilk adımı/aşaması olarak ifade edilmektedir (Wolf 1985). Ana kayaya uygulanan deprem hareketleri altında yerel saha koşullarının tepkisini değerlendirmek için ZDA gerçekleştirilir. Böylesi bir analizde, üst yapı yüklerinin yokluğunda gerilme dalgalarının ana kayadan zeminin üst yüzeyine yayılması araştırılır ve zeminin ana kayanın üzerinde herhangi bir derinlikte tepkisi belirlenebilir. Sismik dalgaların herhangi bir derinlikte genlik (gerilme, şekil değiştirme, ivme vb.), süre ve frekans içeriği cinsinden değişimi ZDA ile değerlendirilebilir.

Yukarıda izah edildiği üzere yapı-kazık-zemin etkileşiminin irdelenebilmesi için öncelikle zeminin yapının yokluğunda deprem yükleri altındaki davranışının araştırılması gerekmektedir. Bu araştırmalar ZDA olarak bilinmektedir. Bu analizler doğrultusunda gerçekçi analizler gerçekleştirilebilmek için zemin modeline ait yanal boyutları belirlenmektedir. Hemen ardından kazıklı sistem arayüz parametreleri de dikkate alınarak oluşturulan doğrusal olmayan yapı-kazık-zemin kinematik analizleri gerçekleştirilmektedir. Ancak üzerinde çok blok bulunan kazıklı temellerin kinematik analizlerinin yapılabilmesi için güçlü bilgisayarlara ihtiyaç duyulmakta ve analizler ciddi zaman almaktadır. Bu sebeple çok bloklı yapı sistemlerinin analizleri uygulamada genellikle yapılar ayrı ayrı analiz edilmek suretiyle gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışma kapsamında TBDY (2018)'de bulunan Yöntem 1'e göre örnek çok bloklı yapı sisteminin kinematik analizlerinin birlikte ve ayrı ayrı çözülmesi sonucu elde edilen sonuçlar değerlendirilmektedir. Öncelikle 1B ve 3B doğrusal ZDA gerçekleştirilerek zeminin tabanından yüzeye gelen dalgaların tepkileri karşılaştırılmış ve bu sayede oluşturulan 3B modelin kalibrasyonu sağlanmıştır. Hemen ardından Ramberg-Osgood malzeme modeli parametrelerinin kalibrasyonu yapılarak doğrusal olmaya 1B ve 3B tepkiler karşılaştırılmıştır. Son olarak 3B çok bloklı yapı sistemi birlikte ve her bir yapı ayrı ayrı olmak üzere doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları kazıklardaki moment, kesme kuvveti ve belirli noktadaki tepki spektrumu üzerinden değerlendirilmektedir.

2. İDEALİZE ZEMİN PROFİLİ VE MALZEME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

İnceleme alanında zemin profilinin kayma dalgası hızını belirlemek için yapılan jeofizik çalışmalarda Masw (yüzey dalgalarının çok yönlü analizi), Remi, Downhole ve PS-Logging testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlerin sonucunda 7-10m sonrasındaki derinliklerde birimlerin çok sert, taşlaşmış kum-kil-çakıl seviyelerin, kumtaşı-kiltaşı ardalanımlı, yer yer parçalı kırıklı seviyelerinin hakim olduğu ortaya çıkmıştır. Bu veriler ışığında kayma dalgası hızının derinlik ile değişimi idealize edilerek Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Vs-derinlik değişimi ve idealize zemin profili

Zemin ve temel etüdü veri raporundan elde edilen verilerde farklı derinliklerde ve farklı zaman aralıklarında 38 sondaj kuyusu açılmıştır. Bu sondaj kuyularının her birine göre geçilen genellikle az çakıllı kumlu siltli kil ve az killi çakıllı siltli kum birimleri olarak tarif edilmektedir. Zeminin plastisite indisi (I_p) değerinin derinlik ile değişimi ve idealize edilmiş hali Şekil 1’de verilmektedir. **Şekil 1’deki birimler az çakıllı kumlu siltli kil birimine girmektedir. Idealize plastisite indisi ise test sonuçlarından elde edilen ortalama veriler dikkate alınarak belirlenmiştir.**

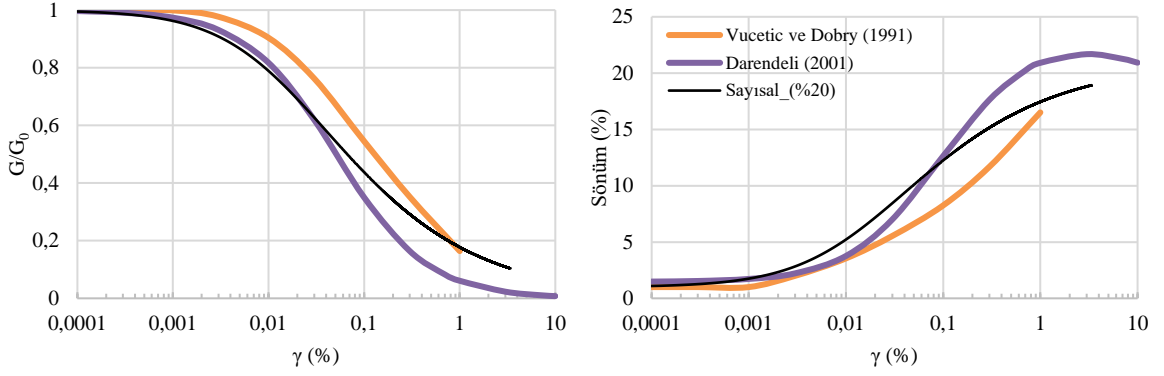
Bu çalışmada zeminin doğrusal olmayan malzeme özelliklerini temsil eden ve literatürde sıklıkla kullanılan Ramberg-Osgood (1943) malzeme modeli kullanılmıştır. Bu model ilk olarak alüminyum gibi net bir akma gerilmesi olmayan metaller için geliştirilmiştir. Model daha sonra ilk kez Faccioli ve ark. (1973) tarafından kumların kayma modülü azalım eğrilerini tahmin etmek için zeminin modellenmesinde kullanılmıştır. Model Midas GTS NX (2023) paket programında mevcuttur. Bu modelde zeminin davranışını tanımlamak için üç parametreye ihtiyaç duyulmaktadır: Başlangıç kayma modülü (G_0), referans şekil değiştirme (γ_r) ve maksimum sönüm değeri (h_{max}) dikkate alınarak bu modelin akma kriteri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla ifade edilmektedir.

$$G_0\gamma = \tau(1 + \alpha|\tau|^\beta) \quad (1)$$

$$\alpha = \left(\frac{2}{\gamma_r G_0}\right)^\beta \quad (2)$$

$$\beta = \frac{2\pi h_{max}}{2 - \pi h_{max}} \quad (3)$$

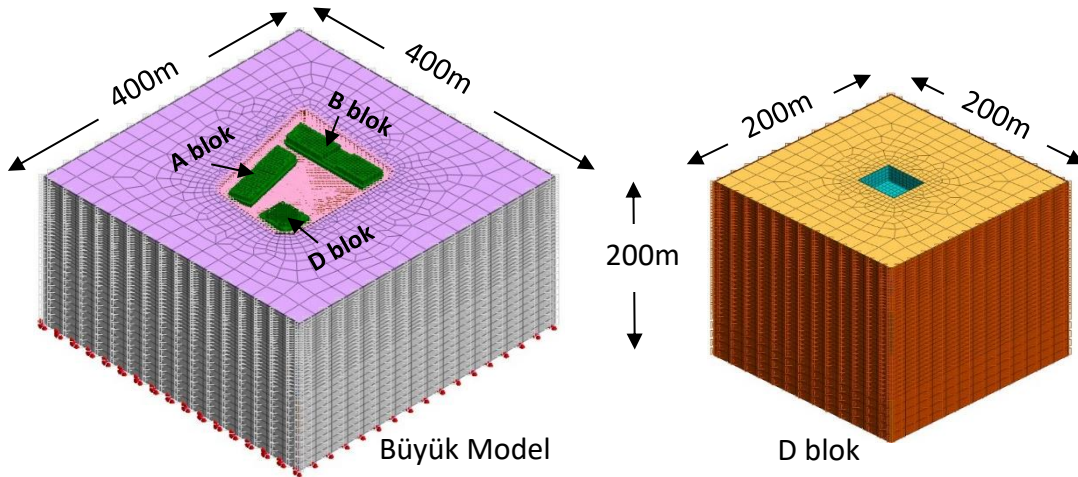
Kalibrasyon aşmasında her bir tabakanın kayma direnci (τ_f), kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerine bağlı olarak referans şekil değiştirme değeri her bir tabaka için ayrı ayrı elde edilmiştir. Öte yandan maksimum sönüm değeri Şekil 2’de literatürde bulunan Darendeli (2001) ve Vucetic ve Dobry (1991) sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada maksimum sönüm değeri %20 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, sayısal modelde küçük şekil değiştirmelerdeki sönümü temsil edebilmesi için %1 ek sönüm Rayleigh sönümü olarak uygulanmıştır.



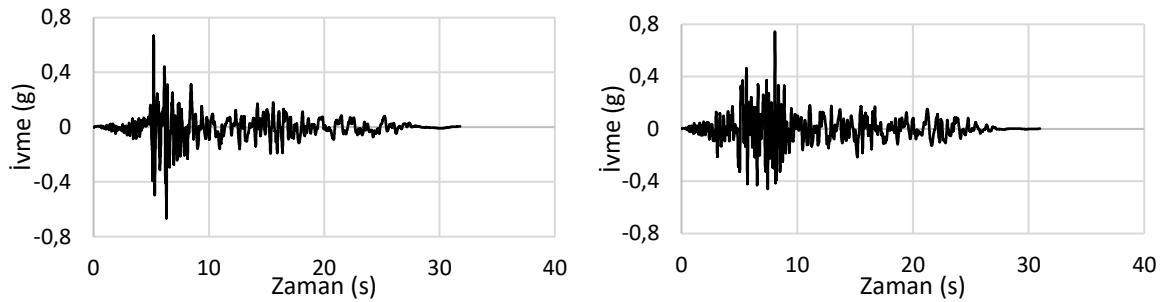
Şekil 2. Kayma modülü ve sönümün kayma birim şekil değıştirme ilişkisi

3. 3B MODELİN KALİBRASYONU VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

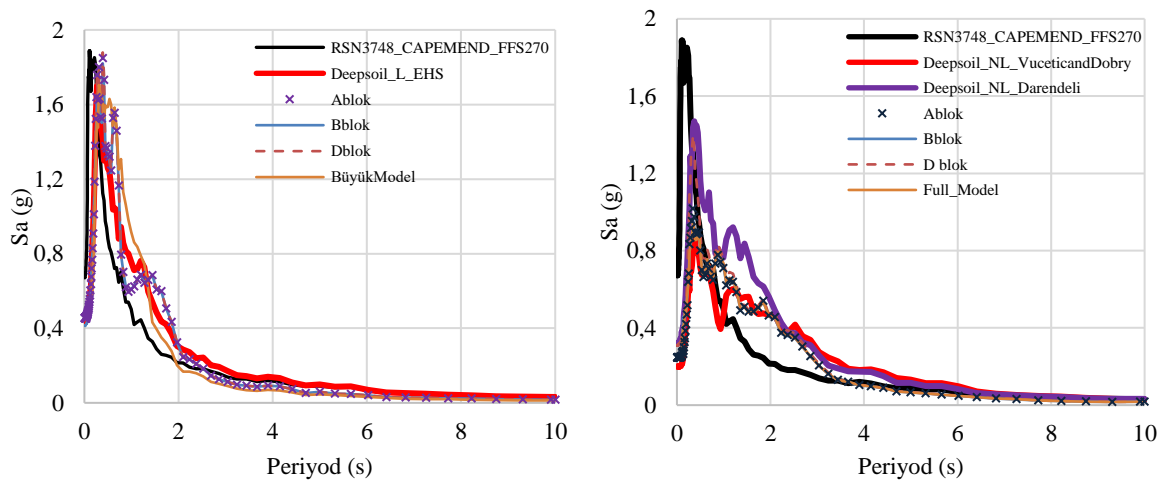
Projede A, B ve D olmak üzere yükseklikleri 90-120 m arasında değışen üç blok kazıklı temel sistemine sahip bulunmaktadır. Bu blokların yerleşimi ve oluşturulan 3B model Şekil 3'te görülmektedir. Projede 1m çapında 49 adet 24m, 49 adet 26m, 289 adet 28m ve 99 adet 32m uzunluğunda kazık kullanılmıştır. Modelin yanıl sınırlarında yansımayı önlemek amacıyla "free-field" elemanlar kullanılarak yansıma etkileri minimize edilmiştir. Bu elemanlarda Lysmer ve Kuhlemeyer (1969) tarafından önerilen sonsuz eleman modelini kullanılmaktadır. Tabandaki yansımaları engellemek için ise yine benzer bir mantıkla Compliant Base kullanılmıştır. Çubuk eleman olarak modellenen kazıkların kritik olan üst uçlarına plastik mafsal tanımlanmış ve kazıkların eksenleri etrafındaki dönmeler kısıtlanmıştır. Kazıkların çevresel sürtünmesi (şaft direnci) davranışını temsil edecek parametreleri belirlemek için Beta metodu (Das ve Sivakugan 2018), kazık uç direncini hesaplamak için ise O'Neill ve Reese (1999) tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır. 1B analizler için kullanılan Deepsoil (Hashash ve ark. 2020) programının tabanında yansımayı önlemek için elastik yarı-uzay (elastic half-space) seçeneği kullanılmıştır. 1-boyutlu kalibrasyon analizlerinde RSN_CAPEMEND_FFS270 kaydı, kinematik analizlerde ise her iki doğrultudaki kayıtlar kullanılmıştır. Bu depremin her iki doğrultudaki kayıtları Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 3. Oluşturulan 3B modellerin görünümü



Şekil 4. RSN3748_CAPEMEND_FFS270 ve RSN3748_CAPEMEND_FFS360 kayıtları

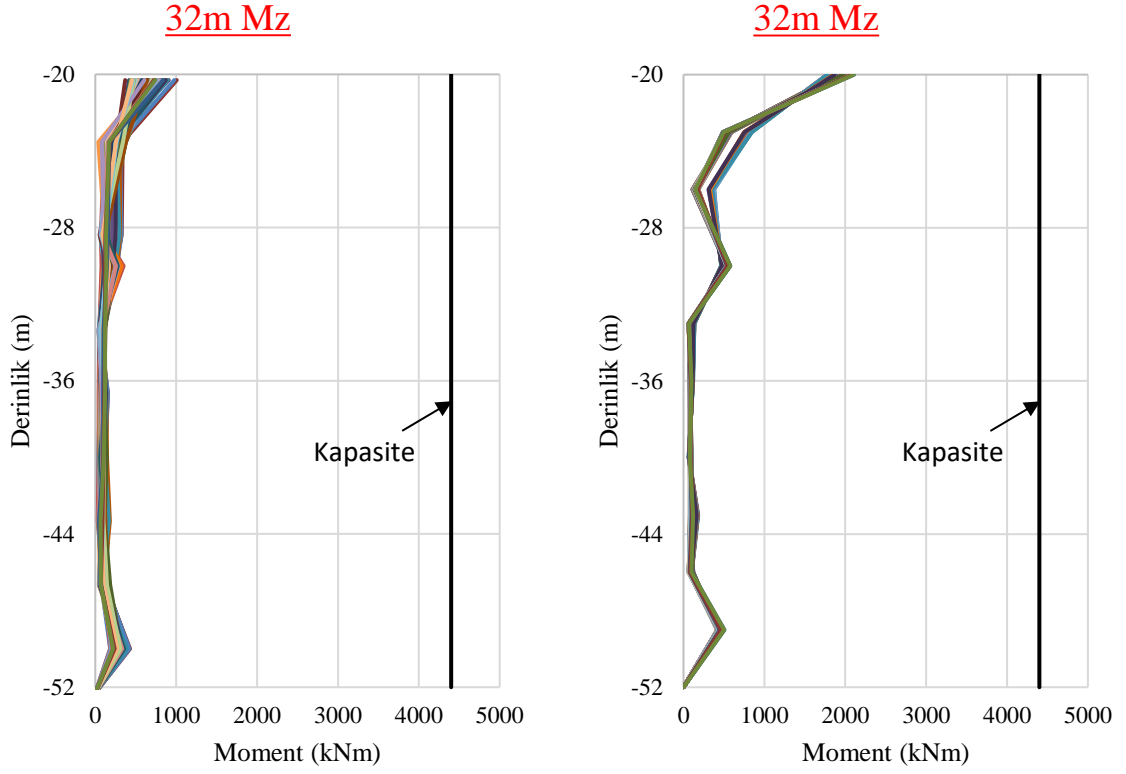


Şekil 5. Doğrusal (sol) ve doğrusal olmayan (sağ) ZDA tepki spektrumlarının karşılaştırılması

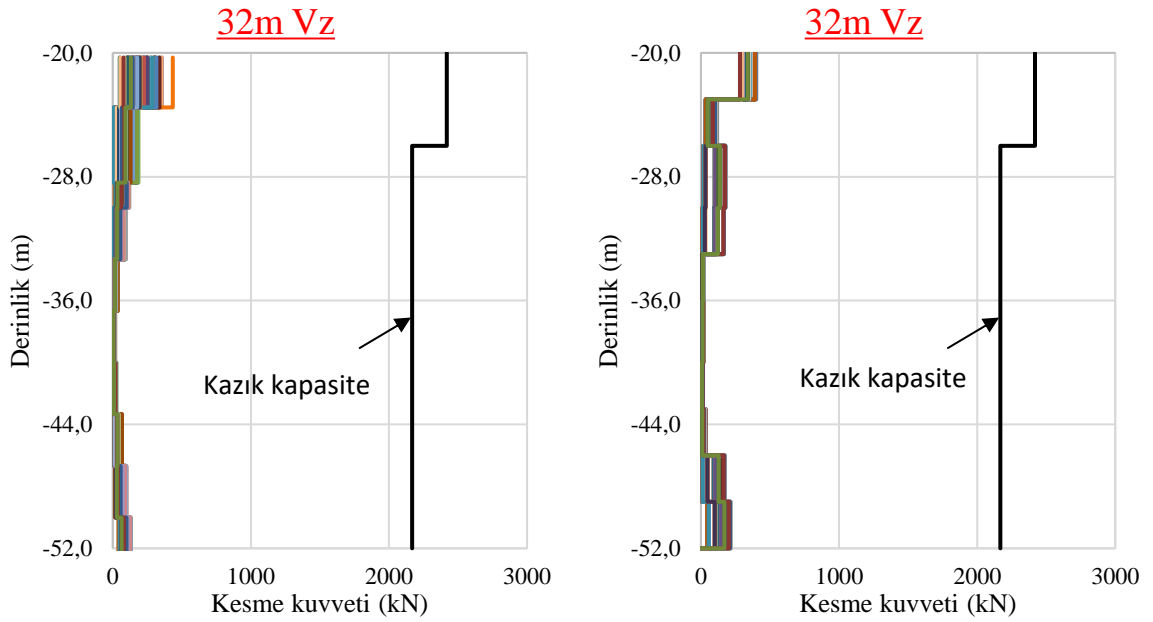
Kalibrasyon işlemi üç aşamadan ibarettir. Birinci aşama doğrusal ZDA, ikinci aşama doğrusal olmayan ZDA ve üçüncü aşama ise kinematik etkileşimden oluşmaktadır. Bu aşamalarda elde edilen büyük model ve küçük model sonuçları karşılaştırmalı olarak verilecektir. İlk aşamada %10 sönüm için 1-doğrultuda doğrusal ZDA gerçekleştirilerek zemin üst yüzündeki tepki spektrumları Şekil 5'te karşılaştırılmaktadır. Şekil incelendiğinde hem büyük modelin hem de blok bazlı model sonuçlarının Deepsoil ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. İkinci aşamada ise Şekil 2'de kalibrasyonu yapılan zemin parametreleri ile doğrusal olmayan ZDA analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen tepki spektrumları Şekil 6'da verilmiştir. Doğrusal sonuçlara benzer şekilde doğrusal olmayan ZDA sonuçları da Deepsoil ile uyumludur.

Üçüncü aşamada ise sisteme kazıkların eklenmesiyle kinematik etkileşim analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada ilk başta sistem kendi yüklerine, sonrasında yapılarda gelen yüke ve son olarak iki doğrultuda deprem yükü olmak üzere aşamalı analiz edilmiştir. Yukarıdaki kalibrasyon sürecinden sonra büyük model ve ayrı ayrı yapılan D blok kinematik analizlerinde kazıklarda 22 (11x2) analiz sonucunda meydana gelen ortalama eğilme momentleri Şekil 6'da verilmektedir. Bu sonuçlara göre büyük modelde kazık başlığında sadece D blok sonuçlarının yarısı kadar moment oluşmaktadır. Böylece ayrı ayrı çözülen modelin büyük modele göre tasarımcı açısından dezavantaj olduğu söylenebilir. Tabaka değişim seviyeleri olan -30m ve -49m'de moment değerinde artış görünürken -30m'de bu artış oranı daha az olmaktadır. Bunun sebebi ise -30m seviyesinde başka uzunluktaki kazıkların gelen tepkileri karşıladığı ancak -49m'de sadece 32m kazık bulunduğu için daha büyük tepkilerin oluştuğu yönündedir. Öte yandan bu çalışma için kritik olmasa da sıklıkla tercih edilen belirli seviyelerde kazık eğilme donatısının azaltılması uygulamasının bazı durumlarda kritik olabileceği ifade edilmelidir. Bu yüzden böylesi uygulamanın kullanımında tabaka değişimlerinin dikkate

alınması gerekmektedir. Benzer sonuçlara **ortalama** kesme kuvveti derinlik değışimi üzerinden de varılmaktadır (Şekil 7).



Şekil 6. Kinematik etkileşim sonucu 32m kazıklarda **ortalama** moment-derinlik ilişkisi: Büyük model (sol), D blok (Sağ)



Şekil 7. Kinematik etkileşim sonucu 32m kazıklarda **ortalama** kesme kuvveti-derinlik ilişkisi: Büyük model (sol), D blok (Sağ)

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada TBDY (2018)'de önerilen Yöntem I'e göre tasarımı yapılan örnek çok bloklı yapı sisteminin birlikte ve ayrı ayrı kinematik analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda doğru bir kalibrasyon sürecinden sonra çok bloklı yapı sistemlerinin direkt kinematik analizlerinin ayrı ayrı analizlere göre daha düşük kesit tesirleri elde edilmiştir. Ancak özellikle tabaka değişimlerinin olduğu bölgelerde kesit tesirlerinin önemli değişime uğrayabileceği ortaya çıkmıştır. Her ne kadar bu örnek için elde edilen sonuçlar ayrı ayrı çözülen bloklar için daha konservatif tepkilerin oluştuğunu gösterse de farklı zemin koşulları ve farklı blok yerleşimleri için daha fazla araştırmaların gerçekleştirilmesi gerektiğini ifade etmek uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- Das, B. M. ve Sivakugan, N., (2018), "Principles of foundation engineering", Cengage learning.
- Darendeli, M. B., (2001), "Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves", Doktora Tezi, The university of Texas at Austin.
- Faccioli, E., Santayo, V., Leone, J. L., (1973), "Microzonation criteria and seismic response studies for the city of Managua", In Proc. of the Earthquake Engineering Research Distribution Conf. on the Managua.
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Ilhan, O., Xing, G., Numanoglu, O., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D. (2020) "DEEPSOIL 7.0, User Manual". Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Lysmer, J. ve Kuhlemayer, R. L., (1969) "Finite dynamic model for infinite media", Journal of the Engineering Mechanics Division, Proc. ASCE, Vol. 95, No. EM4, pp. 859-876.
- Midas GTS NX (2023), "Online Manual", MIDAS Information Technology Co.
- O'Neill, M.W. ve Reese, L.C., (1999), "Drilled Shafts: Construction Procedure and Design Methods", FHWA Report No. IF-99-025
- Ramberg, W. ve Osgood, W. R., (1943), "Description of stress strain curves by three parameters", National Advisory Committee for Aeronautics, Technical Note, No. 902. p. 28.
- TBDY (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Vucetic, M. ve Dobry, R., (1991). "Effect of soil plasticity on cyclic response". Journal of geotechnical engineering, 117(1), 89-107.
- Wolf, J. P., (1985), "Dynamic soil-structure interaction", Prentice Hall.