

# Yumuşak Kil Zeminlerde Kazıkların Dinamik Davranışının Kinematik Etkileşim Yöntemi ile İrdelenmesi

<sup>1</sup>Yaşar Altun, <sup>2</sup>Gizil Tak, <sup>2</sup>Selçuk Bildik, <sup>3</sup>Sedat Sert, <sup>3</sup>Aşkın Özocak ve <sup>3</sup>Ertan Bol

<sup>1</sup>Emlakkonut GYO, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Nişantaşı Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

## Öz

Geçmişten günümüze kadar birçok deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiş olsa da zemin etkilerinin dikkate alındığı ilk yönetmelik 2018'de yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği sayılabilir. Bu yönetmelikte zeminlerle ilgili birçok konuya yer verilmiş olup, bu yönetmeliğin en önemli yeniliği yapı-kazık-zemin etkileşim analizlerinin belirli yapılarda zorunlu hale getirilmesidir. Yapı-kazık-zemin etkileşimi analizlerinde kullanılacak yöntemler TBDY 2018'de Yöntem I, Yöntem II ve Yöntem III olarak üç farklı metot ile tanımlanmıştır. Bu çalışmada uygulamadan bir vaka ele alınarak, depremselliği yüksek olan bir bölgede TBDY 2018'de Yöntem II ve Yöntem III isimlendirilen yöntemler arasındaki farklar araştırılmıştır. Etkileşim analizlerinde Yöntem III olarak bilinen deplasman yönteminde seçilen deprem verisinin sonuçları çok etkilemediği, Yöntem II 'de ise (TH-Zaman Tanım Alanı Yöntemi) deprem verileri arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. Ayrıca Yöntem II ile yapılan analizlerde kazıkta oluşan etkiler Yöntem III'e göre yaklaşık 2 kat fazla elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kinematik etkileşim, TBDY 2018, zaman tanım alanı, DeepSoil programı, zemin tepki analizi.

## Abstract

Although many earthquake regulations have been used in practice from the past to the present, the first regulation that takes into account the soil effects is the Turkish Building Earthquake Code (TBDY) published in 2018. In this code, many issues related to soils are included, and the most significant addition is the structure-pile-soil interaction analyses that are made compulsory for certain structures. Structure-pile-soil interaction analyses are defined in TBDY 2018 as three different methods, Method I, Method II and Method III. In this study, the differences between two methods namely Method II and Method III in TBDY 2018 in a region with high seismicity were investigated by considering a case study. According to the interaction analysis, it was observed that the earthquake data selected in the displacement method, known as Method III, did not affect the results much, and there were differences between the earthquake data in Method II (TH-Time History Method). Additionally, the shear and moment effects on the pile were obtained approximately 2 times more in Method II than with Method III.

**Keywords:** Kinematic interaction, TBDY 2018, time history method, DeepSoil program, site response analysis.

## 1. Giriş

Ülkemiz dünyanın en etkili deprem kuşaklarının birinde yer almakta olup, geçmişte günümüze kadar meydana gelen depremler büyük can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Meydana gelen depremler nedeniyle oluşan bu kayıplar incelendiğinde yetersiz zemin etütleri, yönetmeliklerde yer alan eksiklikler, inşaat kalitesinin yetersiz olması ve yerel zemin koşullarının deprem etkilerinin

büyütmesi gibi faktörlerin etkili olduğu görülmüştür. Geoteknik mühendisliğinin en önemli problemlerinden birisi yapıların taşıma gücü ve oturma açısından sorunlu zeminlerde inşa edilmesidir. Bu tür zeminlerde zemin iyileştirme yöntemleri ile problem ortadan kaldırılmaya çalışılsa da gerek yük koşulları gerekse yapının işlevselliği açısından derin temel (kazıklı temel) sistemi ile çözüm yapılması zorunlu olabilmektedir. Geçmişten günümüze kadar 1940, 1944, 1949, 1953, 1962, 1968, 1975, 1998, 2007 ve 2018 yıllarında yayınlanan deprem yönetmelikleri ile deprem bölgelerinde inşa edilecek yapıların tasarım esasları belirlenmiştir. Ancak derin temellerin tasarıma ilişkin tasarım esasları ilk defa 2018 yönetmeliğinde detaylı olarak ele alınmıştır [1]. 2018 yönetmeliğinden önce derin temellerin tasarımında genel olarak uluslararası kabul görmüş teorik yaklaşımlar ve uluslararası yönetmelikler kullanılmaktaydı. Bu yöntem ve yönetmeliklerle derin temellerin sadece statik koşullardaki davranışı dikkate alınmakta ve dinamik yükler altındaki davranış dikkate alınmamaktadır. Ayrıca kazıkların üst yapı ve zemin ile etkileşiminin deprem bölgelerinde birlikte ele alınması da büyük önem taşımaktadır.

Deprem yükleri altında yapının kazık ve zeminle etkileşimi ilk olarak 2007 yılında yayınlanan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te dikkate alınmıştır. Ancak bu yönetmelikte etkileşim analizleri basit bir yaklaşımdan öteye gitmemiştir. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde ise kazıkların statik yükler altında tasarım esasları yanı sıra belirli yapı sınıfları ve yerel zemin koşulları için yapı-kazık-zemin etkileşimi analizleri zorunlu hale gelmiştir. Yapı-kazık-zemin etkileşimi problemlerinde, zeminin karmaşık olan üst yapı ile birlikte analiz edilmesi ve zemin etkilerinin yapıya gerçekçi olarak yansıtılması oldukça zor ve karmaşıktır. Özellikle üst yapı analizlerinde kullanılan lineer yaklaşımların, heterojen ve anizotropik zemin koşulları için kullanılamaması yapı-kazık-zemin etkileşimi problemlerini daha da karmaşık hale getirmektedir.

Yapı-kazık-zemin etkileşimi analizlerinde kullanılacak yöntemler TBDY 2018'de Yöntem I, Yöntem II ve Yöntem III olarak üç farklı metot ile tanımlanmıştır. Bu çalışmada uygulamadan bir vaka ele alınarak, depremselliği yüksek olan bir bölgede TBDY 2018'de Yöntem II ve Yöntem III isimlendirilen yöntemler arasındaki farklar araştırılmıştır.

Kazıkların tasarımı genel olarak statik ve dinamik yükler altında iki ayrı başlıkta incelenebilir. Kazıkların statik açıdan tasarım esaslarına ilişkin literatürde teorik, sayısal ve deneysel birçok çalışma mevcuttur. Benzer şekilde dinamik yükler altında kazıkların davranışı da birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bunların yanı sıra kazıkların yapı ve zeminle etkileşime yönelik dinamik çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Kaynia [2] yarı sonsuz zemin ortamında grup kazıkların dinamik davranışını incelemiştir. Çalışmada üniform yükleme durumu için kazık-zemin ara yüzeyinde meydana gelen yer değiştirmeleri, zeminin elastisitesi ile kazığın sertlik ve esneklik matrislerine bağlı formülasyon ile hesaplamıştır. Çalışma sonunda kazık gruplarının davranışının frekans temelli olduğunu elde etmişlerdir. Fan ve ark. [3] rijit kütleli başlıklarla birleştirilmiş kazık gruplarının kinematik etkisini düşey olarak yayılan harmonik S dalgalarının etkisi altında sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada kazık-zemin ve kazık-kazık etkileşim etkileri üzerinde çalışılmıştır. İdealize edilmiş üç farklı zemin profili için (homojen bir yarı uzay, modülü derinlikle orantılı bir yarım uzay ve iki tabakalı bir profil) kazık grubu konfigürasyonları değiştirilerek parametrik olarak kinematik etkiler incelenmiştir. Çalışmada doğal zemin profilinin tüm frekanslar için etkili olduğu görüşmüştür.

Ayrıca kazık grubu konfigürasyonu, kazık sayısı ve kazıklar arası mesafenin yanal yer değiştirmelerde önemsiz iken kazık başlığının dönmesinde etkili olduğu anlaşılmıştır. Kavvadas ve Gazetas [4] serbest başlıklı kazıkların kinematik davranışını incelemiştir. Çalışma kayma hızları arasındaki farkın çok olduğu iki tabakalı zemin koşulunda gerçekleştirilmiştir. Kinematik etkileşim analizleri sonucunda kayma hızları farkının eğilme momentine önemli ölçüde etki ettiği görülmüştür. Kazık tasarımında söz konusu geçiş tabakalarında oluşacak momentlerin dikkate alınmaması durumunda, kazıkların tasarlanan aksenal taşıma kapasitesinin aşılabileceği anlaşılmıştır. Castelli ve ark. [5] sonlu elemanlar programı kullanarak tekil kazıkların sismik yükler altında kinematik davranışını incelemiştir. Çalışma kapsamında kazık-zemin ara yüzündeki süreksizlik koşullarını, enerji yayılımı ve dalga yayılımını hesaplayan kazıklar için zemin-yapı etkileşimini gerçekçi şekilde modelleyen bir sayısal model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Kinematik yüklemenin etkilerini değerlendirmek için, serbest alan zemini (kazıksız) ve kazıkların tepkisini karşılaştırılmıştır. Sismik yükler altında deformasyon ve kinematik kazık eğilimlerini tahmin etmek için zaman tanım alanı ve statik itme analizlerini yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak değerlendirildiğinde yumuşak zemine geçiş bölgesinde momentlerin önemli mertebelerde arttığı ve kazık içinde mafsallaşmaların oluştuğu görülmüştür. Boulanger ve ark. [6] santrifüj deneyleriyle zemin-kazık-yapı etkileşimi problemini irdemiştir. Deneylerden elde ettikleri sonuçları doğrusal olmayan Winkler temeli ile irdemiştir. Deneylerde 0.02 ile 0.7g arasında değişen tepe ivmesinden oluşan 9 farklı deprem kullanmışlardır. Winkler yöntemi ile yapılan analiz sonuçları deneyden elde edilen sonuçlara göre %15-20 civarında daha az elde edilmiştir. Bu fark kazıklarda oluşan eğilme momentleri yönünden yapıda oluşan hareketler %5-10 arasında daha fazla elde edilmiştir. Luo ve ark. [7] zemin-kazık-yapı etkileşimi sistemini üç boyutlu sonlu elemanlar programı ile araştırmışlardır. Çalışmada yansıma yapmayan sınır koşulu ve doğrusal olmayan zemin modeli dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Zemin tepki analizleri geliştirilmiş eşdeğer bir doğrusal model ve değiştirilmiş Drucker Prager zemin modeli ile ayrı ayrı yapılmıştır. Analizlerde zeminin doğrusalsızlığının davranışı doğrudan etkilediği ve eşdeğer model kullanılması durumunda daha düşük ivme tepkileri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda etkileşim analizlerinde mutlaka doğrusal olmayan zemin modellerinin kullanılması gerekliliği ve sonuca etki ettiği görülmüştür. Zhang ve Liu [8] yapı-kazık-zemin etkileşimi problemi killerde hiperbolik-histeretik zemin modelleri kullanılarak üç boyutlu sonlu elemanlar analizleri ile araştırılmıştır. Çalışmada özellikle kazık eğilme momentinin ve üst yapı davranışı dikkate alınarak daha önceden yapılan santrifüj deney sonuçları karşılaştırılmış ve elde edilen sonlu elemanlar sonuçlarının deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda kazık eğilme momentinin hesaplanması için bir formülasyon elde edilmiş olup, literatürdeki diğer çalışmalarda belirtildiği gibi üstyapının yapı-kazık-zemin etkileşimi üzerinde önemli etkisi olduğu ve birlikte modellenmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Yapı-kazık-zemin etkileşimi ile ilgili birçok ulusal ve uluslararası yönetmelikte belirli kurallar yer almakta olup, etkileşim analizlerin yapılması zorunludur. Ülkemizde 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile birlikte belirli deprem düzeyleri, yapı grupları ve zemin sınıfları için etkileşim analizleri zorunlu hale getirilmiştir. Bu çalışmada TBDY 2018'de önerilen etkileşim analiz yöntemlerinden Yöntem II ve Yöntem III, gerçek bir vaka ele alınarak araştırılmıştır. Kinematik etkileşim analizinde seçilen yöntemin kazıkların tasarımına etkisi tartışılmıştır.

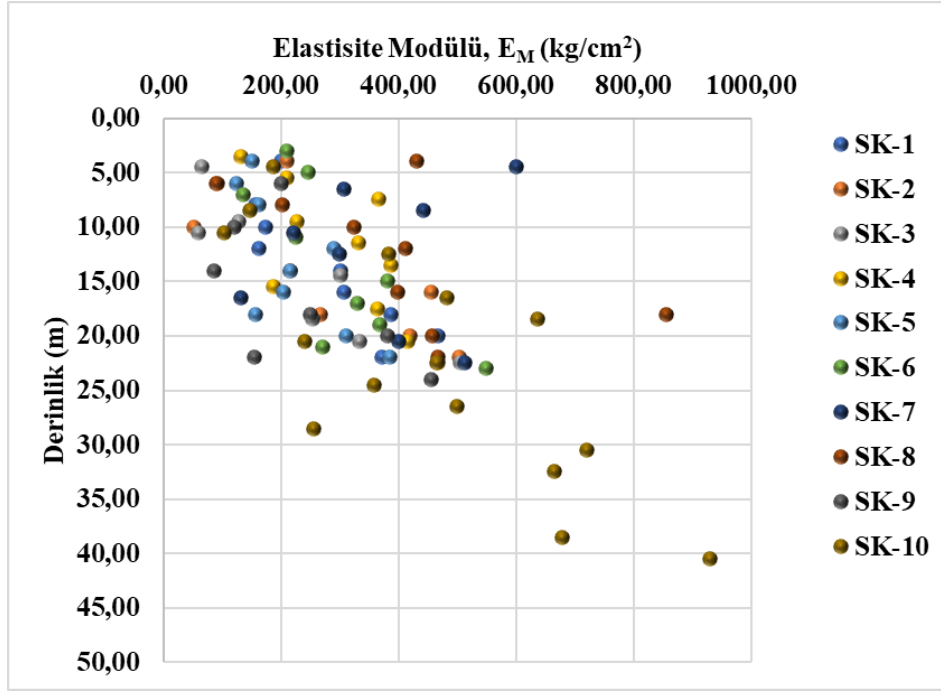
## 2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında, 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğinde yer alan etkileşim analiz yöntemlerinden Yöntem II ve Yöntem III bir vaka analizi ele alınmaktadır. Söz konusu vaka örneği İzmir ilinde yer almakta olup, yapı 3 bodrum olmak üzere 28 kattan oluşmaktadır. Ele alınan vaka analizi için analizlerinde izlenen adımlar aşağıda sıralanmaktadır.

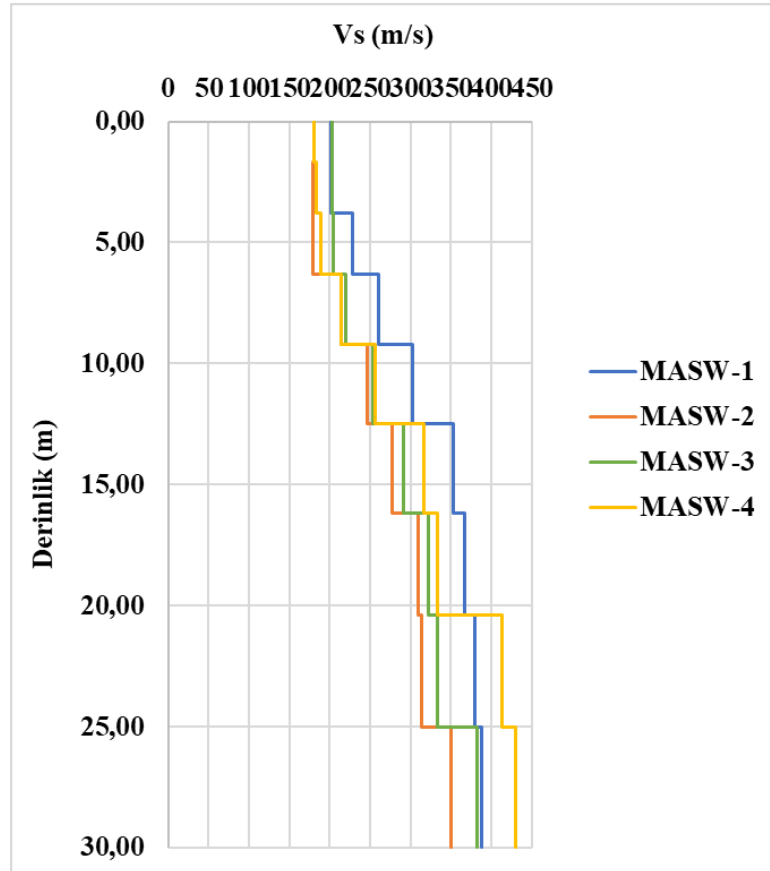
1. **Adım:** Saha özelliklerinin belirlenmesi
2. **Adım:** Uygun deprem kaydının seçilmesi
3. **Adım:** Zemin tepki analizleri
4. **Adım:** Kazık (p-y) yaylarının seçilmesi
5. **Adım:** Kinematik etkileşim analizi

### 2.1. Saha ve Yapı Özelliklerinin Belirlenmesi

Vaka örneğinin ele alındığı sahada zeminin düşey ve yatay yöndeki değişimlerinin ve zemin yapısının belirlenmesi amacıyla derinlikleri 25.00-120.00 metre olan 17 noktada, toplam 1015.50 metre derinlikte sondaj kuyusu açılmıştır. Sahada yapılan sondaj çalışmalarından yararlanarak yanal ve düşey litolojik birimdeki değişimler tespit edilmiştir. Sondajlar sırasında zeminin geoteknik özelliklerini saptamak amacıyla sondajlarda karotlu ilerleme yapıp, karot numuneler alınmıştır. Sondaj çalışmalarına veri sağlaması amacı ile 6 adet yerinde CPTU, 17 kuyuda çeşitli derinliklerde SPT, 10 kuyuda pressiyometre ve 2 kuyuda PS Logging yapılmıştır. Zemin cinslerinin yerinde dinamik özelliklerinin tespiti (Yoğunluk, Kayma Modülü, Bulk Modülü, Poisson Oranı, Young Modülü, Zemin Hâkim Titreşim Periyodu) amacıyla 4 adet sismik MASW ölçümü yapılmıştır. Ayrıca, zeminin fiziksel ve mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla üç eksenli sıkışma ve direkt kesme deneyi yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda zeminin elastisite modülünün derinlikle değişimi Şekil 1’de, kayma hızı dalgası (Vs) değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 2’de sunulmaktadır.



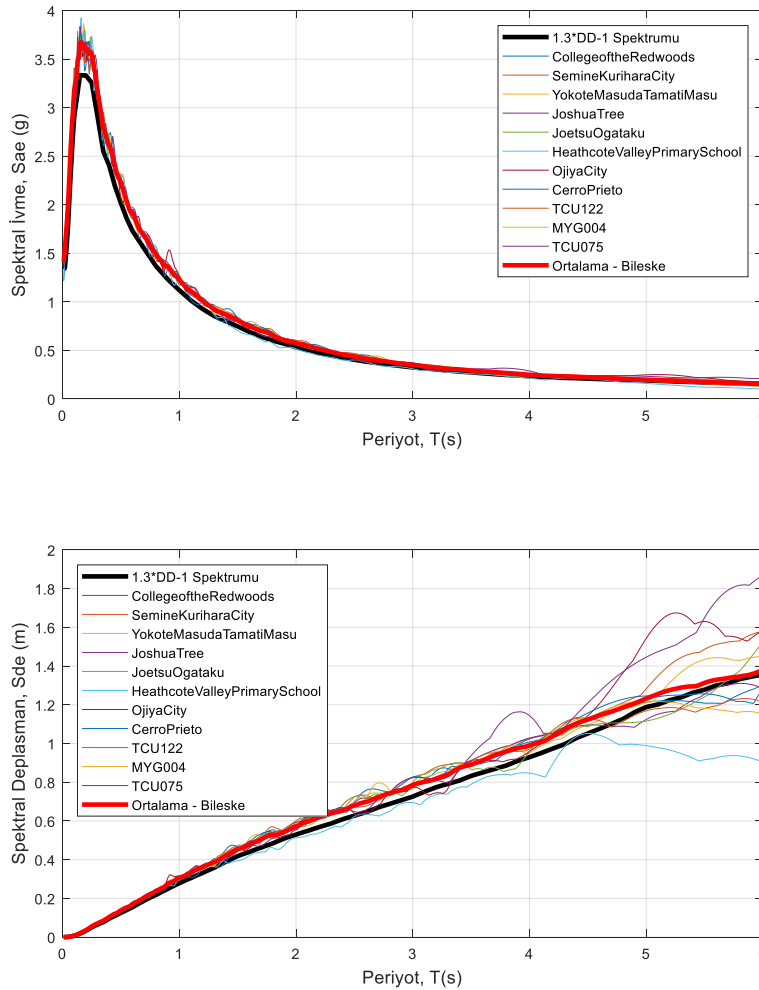
Şekil 1. Elastisite modülünün derinlikle değişimi



Şekil 2. Kayma hızının derinlikle değişimi

## 2.2. Uygun Deprem Kaydının Seçilmesi

Analizlerde vaka örneğinin yer aldığı sahaya özel deprem kayıtları kullanılmıştır. TBDY 2018’de zaman tanım alanında yapılacak analizler için aşağıdaki özelliklere sahip deprem yer hareketi takımı seçilmesi istenmektedir. Her bir deprem yer hareketi takımı için senaryo depremi parametreleri ile uyumlu gerçek ivme kayıtları kullanılmıştır. Ölçeklendirme analizlerinde DD1 deprem düzeyi için elde edilen sahaya özel deprem yer hareketi spektrumları (GeoMean) kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda DD1 depremi için elde edilen ölçeklendirilmiş spektral ivme ve spektral deplasman bileşke spektrumları ve ortalamaları Şekil 3’de sunulmaktadır.

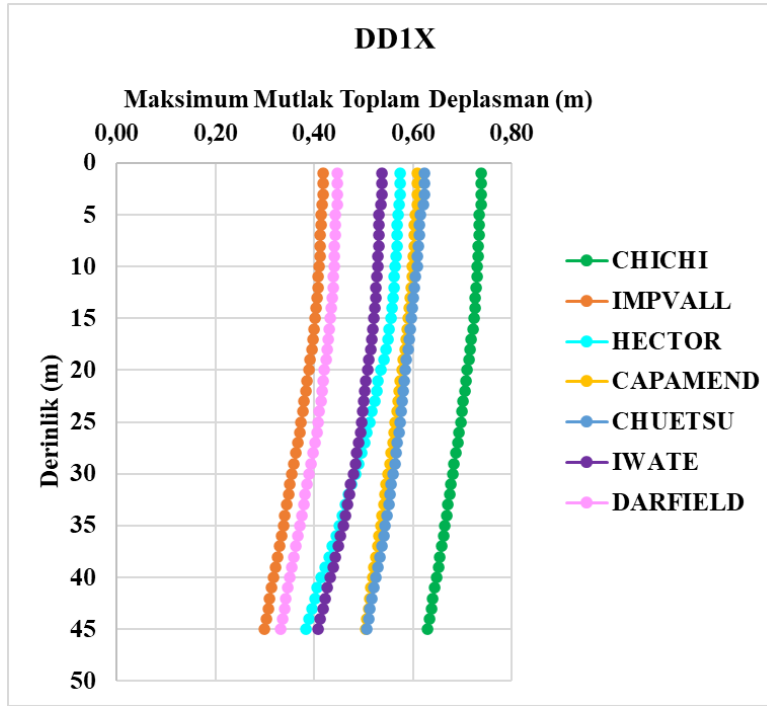


Şekil 3. DD1 deprem düzeyi için spektral ivme ve spektral deplasman bileşke spektrumları ve ortalamaları

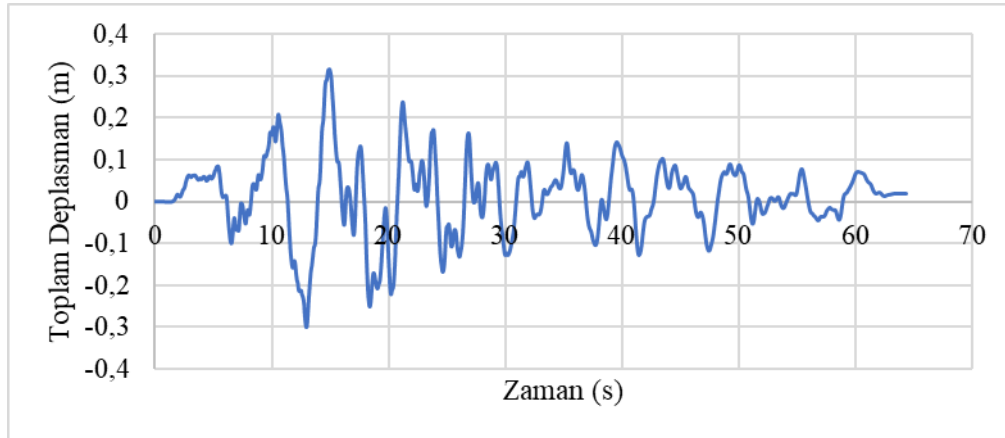
## 2.3. Zemin Tepki Analizleri

Bu çalışma kapsamında TBDY 2018’e göre kazıkların kinematik etkileşim analizleri Yöntem II ve Yöntem III’e göre araştırılmıştır. Kinematik etkileşim analizleri SAP2000 sonlu elemanlar programı ile gerçekleştirilmiştir. SAP2000 programında zemin özellikleri doğrudan

tanımlamamakta olup, zeminin dinamik yükler altındaki davranışı DeepSoil programı ile belirlenmiş olup, dinamik yüklemeler sonucu elde edilen toplam deplasmanlar ya da zaman tanım alanındaki deplasmanlar kazık elemanlara tanımlanmıştır. DeepSoil analizlerinde 45 metre derinliğindeki tabaka birer metre tabakalar olarak tanımlanmıştır. Yöntem III'de DeepSoil analizlerinden maksimum mutlak deplasman değerleri kullanılmakta olup, DD1 deprem düzeyi için farklı depremlerden elde edilen maksimum mutlak deplasman değerinin derinlikle değişimi Şekil 4'de sunulmaktadır. Yöntem II'de ise her tabaka için elde edilen zaman tanım alanındaki deplasman değerleri elde edilmiş olup, 1. metredeki tabaka için elde edilen sonuç Şekil 5'de sunulmaktadır.



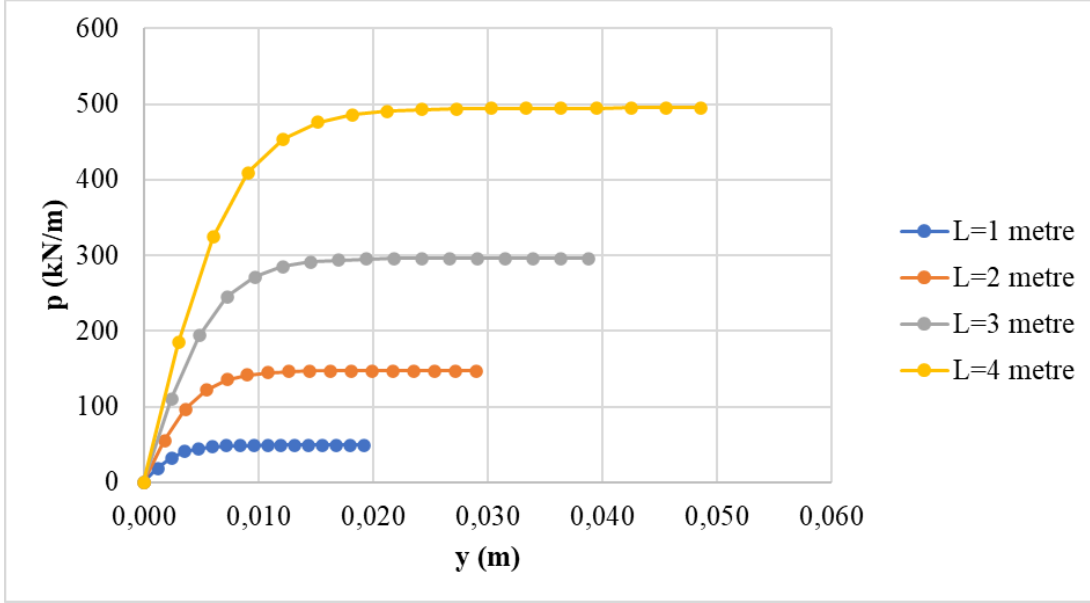
Şekil 4. DD1 deprem düzeyi için maksimum mutlak toplam deplasmanın derinlikle değişimi



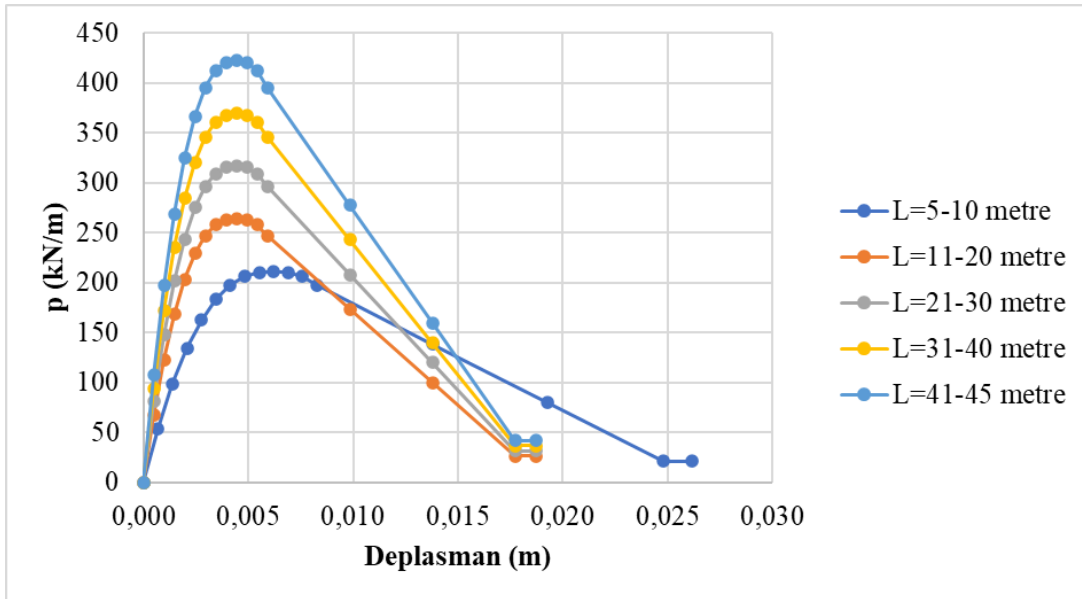
Şekil 5. DD1 deprem düzeyi için 1. metrede elde edilen maksimum mutlak toplam deplasmanın derinlikle değişimi

## 2.4. Kazık Yaylarının Seçilmesi

Sonlu elemanlar analizleri SAP2000 programı ile gerçekleştirilmiş olup, programda zemin özellikleri kazıklarda belirlenen düğüm noktalarına girilen yaylarla tanımlanmıştır. Kum ve kil zeminlerdeki (p-y) yaylarının belirlenmesinde API 2000 [9] ile Reese ve diğ. [10] çalışmalarından faydalanılmıştır. 80 cm çapındaki kazık için kum zeminde elde edilen p-y eğrileri Şekil 6’da, kil zemin için elde edilen p-y eğrileri Şekil 7’de sunulmaktadır.



Şekil 6. Analizlerde kullanılan kum zeminlere ait p-y eğrileri (D=80cm)



Şekil 7. Analizlerde kullanılan kil zeminlere ait p-y eğrileri (D=80cm)

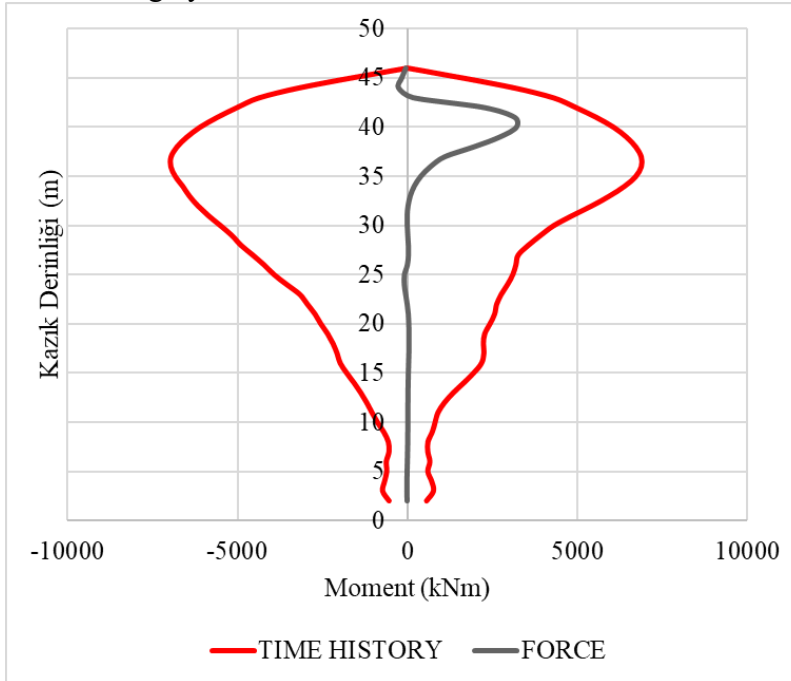


## 2.5. Kinematik Etkileşim Analizi

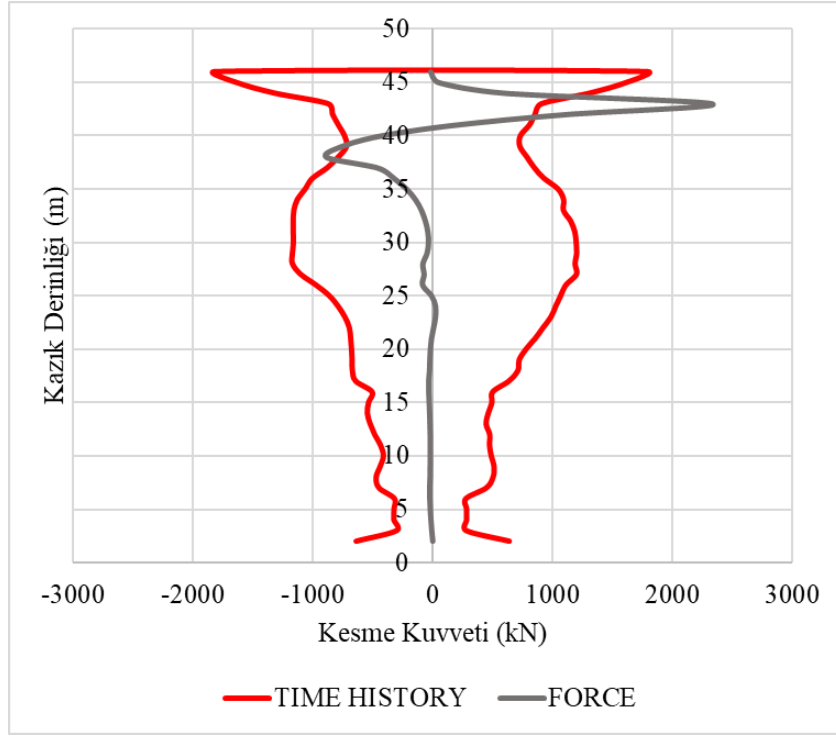
Kinematik etkileşim analizleri SAP2000 sonlu elemanlar programı ile gerçekleştirilmiştir. Analizler DD1 deprem düzeyi için Yöntem II ve Yöntem III'e göre yapılmıştır. Yöntem II'de SAP2000'de modellenen kazıklara p-y yayları tanımlandıktan sonra, DeepSoil analizlerinden elde edilen zaman tanım alanındaki deplasman değerleri girilmiştir. 45 metrelik zemin profili için her metre için ayrı ayrı analizler yapılarak modele girilmiştir. Yöntem III'de ise farklı olarak DeepSoil analizlerinden elde edilen deplasman değerleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

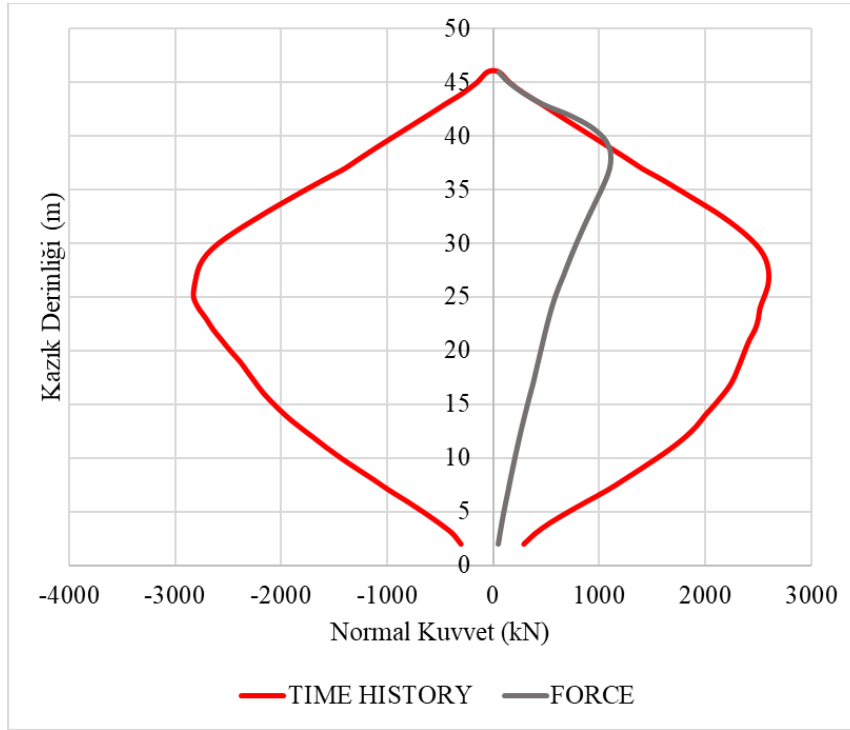
Çalışma kapsamında kinematik etkileşim analizlerinde Yöntem II ve Yöntem III'ün karşılaştırılması için bir seri analiz gerçekleştirilmiştir. Yöntem II ve Yöntem III dikkate alınarak DD1 deprem düzeyi için yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar kazık derinliği boyunca oluşan moment, kesme kuvveti ve normal kuvvet yönünden karşılaştırılmıştır. DD1 deprem düzeyi için yapılan karşılaştırmalar sırasıyla Şekil 8, 9 ve 10'da sunulmaktadır. İki yöntem kendi içinde değerlendirildiğinde her iki deprem düzeyi için TH yöntemi (Yöntem II) ile yapılan analizlerde elde edilen moment değeri deplasman yöntemi (Yöntem III) ile elde edilen moment değerlerine göre yaklaşık iki kat fazla edilmiştir. Kesme kuvveti açısından maksimum değerler aynı mertebede iken normal kuvvet yönünden TH yöntemi ile elde edilen etkiler deplasman yönteminin 2.35 katı elde edilmiştir. TH yönteminde birden fazla etkinin deprem analizlerinde dikkate alınması bu farklılıkları ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca zaman tanım alanında depremin zamana bağlı etkileri TH yönteminde daha gerçekçi olarak kazık elemanlarına yansıtılmaktadır. Yöntem III ile elde edilen sonuçlar daha ekonomik çözümler ortaya çıkaracak olsa da, yapılara etki eden deprem gibi önemli bir etkinin güvenlik açısından dikkate alınması ve Yöntem II'nin kullanılması daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.



Şekil 8. DD1 deprem düzeyi için kazıklara etki eden momentlerin karşılaştırılması



Şekil 9. DD1 deprem düzeyi için kazıklara etki eden kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması



Şekil 10. DD1 deprem düzeyi için kazıklara etki eden normal kuvvetlerin karşılaştırılması

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Geoteknik mühendisliğinin en önemli araştırma konularından birisi derin temellerin tasarımıdır. Geçmişten günümüze kadar statik yükler altında kazıkların davranışı üzerine birçok yönetmelik mevcut iken, dinamik yükler altındaki davranış hususları son yıllarda uluslararası yönetmeliklerde göz önüne alınmaya başlanmıştır. Ülkemizde de 2018 yılında yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile belirli zemin koşullarında ve yapı özelliklerinde kazıkların dinamik yükler altında etkileşim analizinin yapılması zorunlu hale gelmiştir. Ancak yönetmelikte yer alan kinematik etkileşim analizlerinde üç farklı yöntem (Yöntem I, II ve III) dikkate alınmakta olup, bu yöntemlerin uygulaması ile ilgili birçok soru işareti mevcuttur. Bu çalışmada TBDY 2018’de yer alan Yöntem II ve III’ün bir vaka analizi dikkate alınarak incelenmesi ve iki yöntem arasındaki farkların neler olduğu üzerinde durulmuştur. Bu amaçla incelenen vaka sahasındaki geoteknik çalışmalar değerlendirilmiş, sahaya özel deprem verileri türetilmiş ve bu veriler ışığında zemin tepki analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak Sap2000 sonlu elemanlar programı yardımıyla bir seri analiz yapılmış ve iki yöntemin farklı yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Yöntem II ve Yöntem III ile yapılan analiz sonuçları kendi içinde değerlendirildiğinde her iki deprem düzeyi için TH yöntemi (Yöntem II) ile yapılan analizlerde elde edilen moment değeri deplasman yöntemi (Yöntem III) ile elde edilen moment değerlerine göre yaklaşık iki kat fazla edilmiştir. Kesme kuvveti açısından maksimum değerler aynı mertebede iken normal kuvvet yönünden TH yöntemi ile elde edilen etkiler deplasman yönteminin 2.35 katı elde edilmiştir. TH yönteminde birden fazla etkinin deprem analizlerinde dikkate alınması bu farklılıkları ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca zaman tanım alanında depremin zamana bağlı etkileri TH yönteminde daha gerçekçi olarak kazık elemanlarına yansıtılmaktadır. Yöntem III ile elde edilen sonuçlar daha ekonomik çözümler ortaya çıkaracak olsa da, yapılara etki eden deprem gibi önemli bir etkinin güvenlik açısından dikkate alınması ve Yöntem II’nin kullanılması daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

#### Teşekkür

Projenin pratik uygulama çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi için vermiş oldukları katkılar adına Emlakkonut GYO’ya teşekkür ederiz.

#### Yazar(lar)ın Katkıları

YA ve GT sayısal analizleri yürüttü ve makaleyi yazdı, SB çalışmayı planladı, takip etti. SS analizleri kontrol etti. AO makale yazımını kontrol edip düzeltmeleri yaptı. EB makale yazımını kontrol edip şekil düzeltmelerini yaptı.

Tüm yazarlar makalenin son halini okudu ve onayladı.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

- [1] TBDY, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2018.
- [2] Kaynia AM. Dynamic stiffness and seismic response of pile groups. Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology; 1982.
- [3] Fan K, Gazetas G, Kaynia A, Kausel E, & Ahmad S. Kinematic seismic response of single piles and pile groups. *Journal of Geotechnical Engineering*, 1991;117(12), 1860-1879.
- [4] Kavvads M, & Gazetas G. Kinematic seismic response and bending of free-head piles in layered soil. *Geotechnique*, 1993;43(2), 207-222.
- [5] Castelli F, Maugeri M. and Mylonakis G. Numerical analysis of kinematic soil-pile interaction. *Seismic Conference Commemorating the 1908 Messina and Reggio Calabria Earthquake. American Institute of Physics* 2008;618:625.
- [6] Boulanger RW, Curras CJ, Kutter BL, Wilson DW, & Abghari A. Seismic soil-pile-structure interaction experiments and analyses. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering* 1999;125(9), 750-759.
- [7] Luo C, Yang X, Zhan C, Jin X, & Ding Z. Nonlinear 3D finite element analysis of soil–pile–structure interaction system subjected to horizontal earthquake excitation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2016;84:145-156.
- [8] Zhang L, & Liu H. Seismic response of clay-pile-raft-superstructure systems subjected to far-field ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2017;101:209-224.
- [9] API WSD RP-2A Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms, American Petroleum Institute; 2000.
- [10] Reese LC, Cox WR, & Koop FD. Field testing and analysis of laterally loaded piles on stiff clay. In *Offshore Technology Conference, OnePetro* 1975, May.